

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004年12月9日 (09.12.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/107585 A1

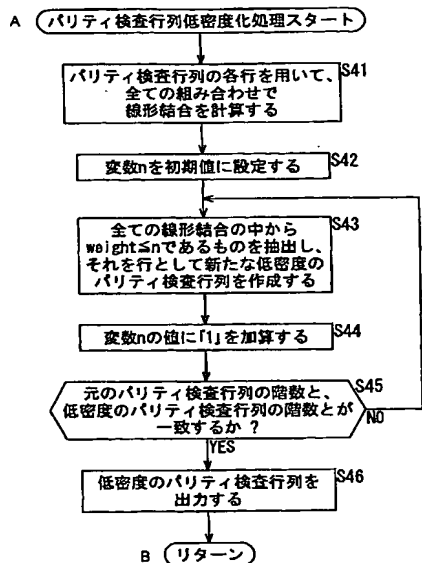
- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H03M 13/09, 13/19, G11B 20/18, 20/18
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/007747
- (22) 国際出願日: 2004年5月28日 (28.05.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2003-153927 2003年5月30日 (30.05.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒1410001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 Tokyo (JP).

- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 菊池 敦 (KIKUCHI, Atsushi) [JP/JP]; 〒2400053 神奈川県横浜市保土ヶ谷区新井町220の20 Kanagawa (JP). 服部 雅之 (HATTORI, Masayuki) [JP/JP]; 〒1410001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 宮内 俊之 (MIYAUCHI, Toshiyuki) [JP/JP]; 〒1410001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 渡辺 一夫 (WATANABE, Kazuo) [JP/JP]; 〒1410001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 菅 真紀子 (KAN, Makiko) [JP/JP]; 〒1410001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: DECODING METHOD, DECODING DEVICE, PROGRAM, RECORDING/REPRODUCTION DEVICE AND METHOD, AND REPRODUCTION DEVICE AND METHOD

(54) 発明の名称: 復号方法および復号装置、プログラム、記録再生装置および方法、並びに、再生装置および方法



A...START OF DENSITY LOWERING PROCESSING OF PARITY CHECK MATRIX  
 S41...CALCULATE LINEAR COUPLING WITH ALL THE COMBINATIONS BY USING EACH ROW OF THE PARITY CHECK MATRIX  
 S42...SET THE VARIABLE n TO THE INITIAL VALUE  
 S43...EXTRACT WEIGHT  $\leq n$  FROM ALL THE LINEAR COUPLINGS AND CREATE A NEW PARITY CHECK MATRIX OF LOW DENSITY USING IT AS A ROW  
 S44...ADD "1" TO THE VALUE OF VARIABLE n  
 S45...THE RANK OF PREVIOUS PARITY CHECK MATRIX COINCIDES WITH THE RANK OF THE PARITY CHECK MATRIX OF LOW DENSITY?  
 S46...OUTPUT PARITY CHECK MATRIX OF LOW DENSITY  
 B...RETURN

(57) Abstract: There are provided a decoding method, a decoding device, a program, a recording/reproduction device and method, and a reproduction device and method which are preferably used for decoding encoded data which has been encoded by linear encoding on ring R. In step S21, a density lowering processing section performs density lowering processing of the parity check matrix, performs linear coupling for the rows of the parity check matrix contained in the reception word acquired, and generates a parity check matrix by the linear coupling result, thereby lowering the density of the parity check matrix used for decoding. In step S22, the LDPC decoding section utilizes the parity check matrix which has been subjected to the density lowering processing in step S21 and performs a decoding processing using the Sum Product Algorithm (SPA). When the processing of step S22 is complete, the LDPC decoding section terminates the decoding processing for the reception word. The present invention can be applied to an error correction system.

(57) 要約: 本発明は、環R上線形符号により符号化した符号化データを復号する場合に用いて好適な、復号方法および復号装置、プログラム、記録再生装置および方法、並びに、再生装置および方法に関する。低密度化処理部は、ステップS21において、パリティ検査行列低密度化処理を実行し、取得した受信語に含まれるパリティ検査行列の行について線形結合を行い、線形結合結果よりパリティ検査行列を生成することにより、復号に用いられるパリティ検査行列の密度を疎にする。そして、ステップS22にお

[続葉有]



(74) 代理人: 稲本 義雄 (INAMOTO, Yoshio); 〒1600023 東京都新宿区西新宿 7 丁目 1 1 番 1 8 号 7 1 1 ビルディング 4 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明細書

復号方法および復号装置、プログラム、記録再生装置および方法、並びに、再生装置および方法

## 5 技術分野

本発明は、復号方法および復号装置、プログラム、記録再生装置および方法、並びに、再生装置および方法に関し、特に、環R上線形符号により符号化した符号化データを復号する場合に用いて好適な、復号方法および復号装置、プログラム、記録再生装置および方法、並びに、再生装置および方法に関する。

10

## 背景技術

近年、例えば、移動体通信や深宇宙通信といった通信分野、及び地上波又は衛星デジタル放送といった放送分野の研究が著しく進められているが、それに伴い、誤り訂正符号化及び復号の効率化を目的として符号理論に関する研究も盛ん

15 に行われている。

符号性能の理論的限界としては、いわゆるシャノン(C. E. Shannon)の通信路符号化定理によって与えられるシャノン限界が知られている。符号理論に関する研究は、このシャノン限界に近い性能を示す符号を開発することを目的として行われている。近年では、シャノン限界に近い性能を示す符号化方法として、例えば、

20 ば、並列接続畳み込み符号(PCCC(Parallel Concatenated Convolutional Codes))や、縦列接続畳み込み符号(SCCC(Serially Concatenated Convolutional Codes))といった、いわゆるターボ符号化(Turbo coding)と呼ばれる手法が開発されている。また、これらのターボ符号が開発される一方で、古くから知られる符号化方法である低密度パリティ検査符号(Low Density Parity Check code

25 s) (以下、LDPC 符号という) が脚光を浴びつつある。

LDPC 符号は、R. G. Gallager による「R. G. Gallager, "Low Density Parity Check Codes", Cambridge, Massachusetts: M. I. T. Press, 1963」に

において最初に提案されたものであり、その後、「D. J. C. MacKay, "Good error correcting codes based on very sparse matrices", Submitted to IEEE Trans. Inf. Theory, IT-45, pp. 399-431, 1999」や、「M. G. Luby, M. Mitzenmacher, M. A. Shokrollahi and D. A. Spielman, "Analysis of low density codes and improved designs using irregular graphs", in Proceedings of ACM Symposium on Theory of Computing, pp. 249-258, 1998」等において再注目されるに至ったものである。

LDPC 符号は、近年の研究により、ターボ符号等と同様に、符号長を長くしていくにしたがって、シャノン限界に近い性能が得られることがわかりつつある。

また、LDPC 符号は、最小距離が符号長に比例するという性質があることから、その特徴として、ブロック誤り確率特性がよく、さらに、ターボ符号等の復号特性において観測される、いわゆるエラーフロア現象が殆ど生じないことも利点として挙げられる。

以下、このような LDPC 符号について具体的に説明する。なお、LDPC 符号は、線形符号であり、必ずしも 2 元である必要はないが、ここでは、2 元であるものとして説明する。

LDPC 符号は、その LDPC 符号を定義する検査行列 (parity check matrix) が疎なものであることを最大の特徴とするものである。ここで、疎な行列とは、行列のコンポーネントの "1" の個数が非常に少なく構成されるものであり、疎な検査行列を  $H$  で表すものとする、そのような検査行列としては、例えば、図 1 に示される  $H_{LDPC}$  ように、各行のハミング重み ("1" の数) (weight) が "2" であり、且つ、各列のハミング重みが "4" であるもの等がある。

このように、各行及び各列のハミング重みが一定である検査行列  $H$  によって定義される LDPC 符号は、レギュラー LDPC 符号と称される。一方、各行及び各列のハミング重みが一定でない検査行列  $H$  によって定義される LDPC 符号は、イレギュラー LDPC 符号と称される。

このような LDPC 符号による符号化は、検査行列  $H$  に基づいて生成行列  $G$  を生

成し、この生成行列  $G$  を 2 元の情報メッセージに対して乗算することによって符号語を生成することで実現される。具体的には、LDPC 符号による符号化を行う符号化装置は、まず、検査行列  $H$  の転置行列  $H^T$  との間に、式  $GH^T=0$  が成立する生成行列  $G$  を算出する。ここで、生成行列  $G$  が、 $k \times n$  行列である場合には、

5 符号化装置は、生成行列  $G$  に対して  $k$  ビットからなる情報メッセージ（ベクトル  $u$ ）を乗算し、 $n$  ビットからなる符号語  $c$  ( $= uG$ ) を生成する。この符号化装置によって生成された符号語は、値が“0”の符号ビットが“+1”に、値が“1”の符号ビットが“-1”にといったようにマッピングされて送信され、所定の通信路を介して受信側において受信されることになる。

- 10 一方、LDPC 符号の復号は、Gallager が確率復号(Probabilistic Decoding)と称して提案したアルゴリズムであって、バリアブルノード(variable node (メッセージノード(message node)ともいう。))と、チェックノード(check node)とからなる、いわゆるタナーグラフ(Tanner graph)上での確率伝播(belief propagation)によるメッセージ・パッシング・アルゴリズムによって行うことが可能である。ここで、以下、適宜、バリアブルノードとチェックノードを、
- 15 単に、ノードともいう。

例えば、図 1 に示されるパリティ検査行列  $H_{LDPC}$  は、図 2 に示されるようなタナーグラフによって表される。図 2 のタナーグラフは、図 1 のパリティ検査行列  $H_{LDPC}$  の各列をバリアブルノード、各行をチェックノードとし、パリティ検査行列  $H_{LDPC}$  の値が「1」の  $i$  行  $j$  列の要素に対して、 $j$  番目のバリアブルノードと

20  $i$  番目のチェックノードをエッジ (edge) としてつないでいる。

しかしながら、確率復号においては、各ノード間で受け渡されるメッセージが実数値であることから、解析的に解くためには、連続した値をとるメッセージの確率分布そのものを追跡する必要がある、非常に困難を伴う解析を必要とするこ

25 とになる。そこで、Gallager は、LDPC 符号の復号アルゴリズムとして、アルゴリズム A 又はアルゴリズム B を提案している。

LDPC 符号の復号は、一般的には、図 2 に示すような手順にしたがって行われ

る。なお、ここでは、受信値（受信した符号系列）を  $U_0(u_{0i})$  とし、チェックノードから出力されるメッセージを  $u_j$  とし、バリアブルノードから出力されるメッセージを  $v_i$  とする。また、ここでは、メッセージとは、値の“0”らしさを、いわゆる対数尤度比(log likelihood ratio)で表現した実数値である。

5 LDPC 符号の復号は、一般的には、図3に示すような手順にしたがって行われる。なお、ここでは、受信値（受信した符号系列）を  $U_0(u_{0i})$  とし、チェックノードから出力されるメッセージを  $u_j$  とし、バリアブルノードから出力されるメッセージを  $v_i$  とする。また、ここでは、メッセージとは、値の“0”らしさを、いわゆる対数尤度比(log likelihood ratio)で表現した実数値である。

10 まず、LDPC 符号の復号においては、図3に示すように、ステップS1において、受信値  $U_0(u_{0i})$  が受信され、メッセージ  $u_j$  が“0”に初期化されるとともに、繰り返し処理のカウンタとしての整数をとる変数  $k$  が“0”に初期化され、ステップS2に進む。ステップS2において、受信値  $U_0(u_{0i})$  に基づいて、式(1)に示す演算（バリアブルノードの演算）を行うことによってメッセージ  $v_i$  が求められ、さらに、このメッセージ  $v_i$  に基づいて、式(2)に示す演算（チェックノードの演算）を行うことによってメッセージ  $u_j$  が求められる。

$$v_i = u_{0i} + \sum_{j=1}^{d_v-1} u_j \quad \dots (1)$$

$$\tanh\left(\frac{u_j}{2}\right) = \prod_{i=1}^{d_c-1} \tanh\left(\frac{v_i}{2}\right) \quad \dots (2)$$

ここで、式(1)と式(2)における  $d_v$  と  $d_c$  は、それぞれ、検査行列  $H$  の縦方向（列）と横方向（行）の“1”の個数を示す任意に選択可能とされるパラメータであり、例えば、(3,6)符号の場合には、 $d_v=3$ 、 $d_c=6$  となる。

なお、式(1)または(2)の演算においては、それぞれ、メッセージを出力しようとする枝(edge)（バリアブルノードとチェックノードとを結ぶ線）から入力されたメッセージを、和または積演算のパラメータとしては用いないことから、和または積演算の範囲が、1乃至  $d_v-1$  または 1乃至  $d_c-1$  となっている。ま

25

た、式（２）に示す演算は、実際には、２入力  $v_1, v_2$  に対する１出力で定義される式（３）に示す関数  $R(v_1, v_2)$  のテーブルを予め作成しておき、これを式（４）に示すように連続的（再帰的）に用いることによって行われる。

$$x = 2 \tanh^{-1} \{ \tanh(v_1/2) \tanh(v_2/2) \} = R(v_1, v_2) \quad \dots (3)$$

$$u_j = R(v_1, R(v_2, R(v_3, \dots R(v_{d_c-2}, v_{d_c-1}))) \dots (4)$$

5

ステップＳ２では、さらに、変数  $k$  が“１”だけインクリメントされ、ステップＳ３に進む。ステップＳ３では、変数  $k$  が所定の繰り返し復号回数  $N$  よりも大きいか否かが判定される。ステップＳ３において、変数  $k$  が  $N$  よりも大きくなると判定された場合、ステップＳ２に戻り、以下、同様の処理が繰り返される。

10

また、ステップＳ３において、変数  $k$  が  $N$  よりも大きいと判定された場合、ステップＳ４に進み、式（５）に示す演算を行うことによって最終的に出力する復号結果としてのメッセージ  $v_i$  が求められて出力され、LDPC 符号の復号処理が終了する。

$$v_i = u_{0i} + \sum_{j=1}^{d_v} u_j \quad \dots (5)$$

15

ここで、式（５）の演算は、式（１）の演算とは異なり、バリエブルノードに接続している全ての枝からの入力メッセージを用いて行われる。

このような LDPC 符号の復号は、例えば(3, 6)符号の場合には、図４に示すように、各ノード間でメッセージの授受が行われる。なお、図４における“=”で示すノード（バリエブルノード）では、式（１）に示した演算が行われ、“+”で示すノード（チェックノード）では、式（２）に示した演算が行われる。特に、アルゴリズムＡにおいては、メッセージを２元化し、“+”で示すノードにて、 $d_c-1$  個の入力メッセージの排他的論理和演算を行い、“=”で示すノードにて、受信値  $R$  に対して、 $d_v-1$  個の入力メッセージが全て異なるビット値であった場合には、符号を反転して出力する。

20

また、一方で、近年、LDPC 符号の復号の実装法に関する研究も行われている。実装方法について述べる前に、まず、LDPC 符号の復号を摸式化して説明する。

25

図5は、(3,6)LDPC符号(符号化率1/2、符号長12)の検査行列(parity check matrix)の例である。LDPC符号の検査行列は、図6のように、タナーグラフを用いて書き表すことができる。ここで、図6において、“+”で表されるのが、チェックノードであり、“=”で表されるのが、バリエブルノードである。チェックノードとバリエブルノードは、それぞれ、検査行列の行と列に対応する。チェックノードとバリエブルノードとの間の結線は、枝(edge)であり、検査行列の“1”に相当する。即ち、検査行列の第j行第i列のコンポーネントが1である場合には、図6において、上からi番目のバリエブルノード(“=”のノード)と、上からj番目のチェックノード(“+”のノード)とが、枝により接続される。枝は、バリエブルノードに対応する符号ビットが、チェックノードに対応する拘束条件を持つことを表わす。なお、図6は、図5の検査行列のタナーグラフとなっている。

LDPC符号の復号方法としては、サムプロダクトアルゴリズム(Sum Product Algorithm)がある(例えば、「和田山正、”低密度パリティ検査符号とsum-productアルゴリズムについて”、[online]、平成13年6月22日、岡山県立大学、[平成15年5月19日検索]、インターネット、<URL:http://vega.c.oka-pu.ac.jp/~wadayama/pdf/LDPC.pdf>」参照)。

このサムプロダクトアルゴリズムでは、バリエブルノードの演算とチェックノードの演算とが繰り返行われる。

バリエブルノードでは、図7のように、式(1)の演算(バリエブルノード演算)を行う。すなわち、図7において、計算しようとしている枝に対応するメッセージ $v_i$ は、バリエブルノードに繋がっている残りの枝からのメッセージ $u_1$ および $u_2$ と、受信情報 $u_{0i}$ を用いて計算される。他の枝に対応するメッセージも同様に計算される。

次に、チェックノードの演算について説明する前に、式(2)を、式 $a \times b = \exp\{\ln(|a|) + \ln(|b|)\} \times \text{sign}(a) \times \text{sign}(b)$ の関係を用いて、式(6)のように書き直す。但し、 $\text{sign}(x)$ は、 $x \geq 0$ のとき1であり、 $x < 0$ のとき-1である。



$$\begin{aligned}
 u_j &= 2 \tanh^{-1} \left( \prod_{i=1}^{d_c-1} \tanh \left( \frac{v_i}{2} \right) \right) \\
 &= 2 \tanh^{-1} \left[ \exp \left\{ \sum_{i=1}^{d_c-1} \ln \left( \left| \tanh \left( \frac{v_i}{2} \right) \right| \right) \right\} \times \prod_{i=1}^{d_c-1} \text{sign} \left( \tanh \left( \frac{v_i}{2} \right) \right) \right] \\
 &= 2 \tanh^{-1} \left[ \exp \left\{ - \left( \sum_{i=1}^{d_c-1} - \ln \left( \tanh \left( \frac{|v_i|}{2} \right) \right) \right) \right\} \times \prod_{i=1}^{d_c-1} \text{sign}(v_i) \right] \\
 &\quad \dots (6)
 \end{aligned}$$

更に、 $x \geq 0$  において、 $\phi(x) = \ln(\tanh(x/2))$  と定義すると、 $\phi^{-1}(x) = 2 \tanh^{-1}(e^x)$  であるから、式(6)は、式(7)のように書くことができる。

$$u_j = \phi^{-1} \left( \sum_{i=1}^{d_c-1} \phi(|v_i|) \right) \times \prod_{i=1}^{d_c-1} \text{sign}(v_i) \quad \dots (7)$$

- 5     チェックノードでは、図8のように、式(7)の演算(チェックノード演算)を行う。すなわち、図8において、計算しようとしている枝に対応するメッセージ  $u_j$  は、チェックノードに繋がっている残りの枝からのメッセージ  $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5$  を用いて計算される。他の枝に対応するメッセージも同様に計算される。

- 10     なお、関数  $\phi(x)$  は、 $\phi(x) = \ln((e^x+1)/(e^x-1))$  と表すことができ、 $x > 0$  において、 $\phi(x) = \phi^{-1}(x)$  である。関数  $\phi(x)$  および  $\phi^{-1}(x)$  をハードウェアに実装する際には、LUT(Look Up Table)を用いて実装される場合があるが、両者共に同一のLUTとなる。

- 15     サンプロダクトアルゴリズムをハードウェアに実装する場合、式(1)で表されるバリアブルノード演算および式(7)で表されるチェックノード演算とを、適度な回路規模と動作周波数で繰り返す行うことが必要である。

また、このようなサンプロダクトアルゴリズムを適用したLDPC符号の演算コストの算出方法も広く知られている(例えば、「Matthew C. Davey, David J C MacKay" Low Density Parity Check Codes over GF(q)"」参照)。

以上のようにサンプロダクトアルゴリズム(SPA)を適応して良い復号性能を

得るには、パリティ検査行列が低密度である必要がある。

また、その他の一般の線形符号、例えば、リードソロモン (Reed Solomon) 符号等のパリティ検査行列  $H$  は、定義体の原始根を  $\alpha$  とした場合、図 9 のように表される。図 9 に示されるように、線形符号のパリティ検査行列  $H$  は、一般に低密度ではない。このような低密度でないリードソロモン符号には、ユークリッド (Euclid) のアルゴリズム等を用いた復号 (以下、通常復号と称する) が行われる。

図 10 は、リードソロモン符号を用いて誤り訂正を行う誤り訂正システムの構成例を示すブロック図である。図 10 に示される誤り訂正システムは、例えば、デジタルテレビ等のデジタル通信システムに用いられるシステムである。

図 10 の誤り訂正システムにおいては、送信側である符号化装置 10 より送信されたデジタル情報が、例えばインターネットに代表される通信路 21 を介して、受信側である復号装置 30 に供給される。

符号化装置 10 は、外部より供給された送信用のデジタル情報を、リードソロモン符号を用いて符号化するリードソロモン符号化部 11、符号化されたデジタル情報の並べ替えを行うインタリーバ 12、畳み込み符号化を行う畳み込み符号化部 13、並びに、通信路 21 を介して、復号装置 30 と通信を行う通信処理部 14 からなる。

また、復号装置 30 は、通信路 21 を介して供給された送信語を取得する通信処理部 31、取得した送信語に畳み込み復号を行う畳み込み復号部 32、並べ替えられた情報を元の順番に戻すデインタリーバ 33、並びに、リードソロモン復号 (通常復号) を行うリードソロモン復号部 34 からなる。

符号化装置 10 の外部より供給された送信用のデジタル情報は、符号化装置 10 のリードソロモン符号化部 11 において、リードソロモン符号化された後、インタリーバ 12 に供給される。インタリーバ 12 は、主に通信路 21 において発生するバースト的誤りを拡散させるために、情報の並べ替え (インタリーブング) を行う。リードソロモン符号は、複数ビットを 1 シンボルとする誤り訂正を

行うので、インタリーバ12は、シンボル単位でバースト的誤りを拡散するシンボルインタリービングを行う。

並べ替えが行われた送信用のデジタル情報は、さらに、畳み込み符号化部13において、複数の情報ブロックに基づいて逐次的に符号系列が定まる畳み込み符号が行われる。例えば、拘束長Kの畳み込み符号化部13は、インタリーバ12よりデジタル情報がkビットの情報ブロック毎に供給されると、今回供給された情報ブロックだけでなく、過去に供給された情報ブロックも含めたK個の情報ブロックに基づいて、nビットの符号ブロックに符号化する。

そして、畳み込み符号化されたデジタル情報は、通信処理部14において、送信可能なデータ形式に変換され、通信路21を介して復号装置30に供給される。

復号装置30は、通信処理部31において、有線または無線の通信路21を介して供給された送信語を取得する。取得された送信語は、畳み込み復号部32により、畳み込み復号が行われる。デインタリーバ33は、畳み込み復号された情報を取得すると、符号化装置10のインタリーバ12において行われたインタリービングに対応した方法で情報の並び替えを行い、並び替えられた情報を元の順序に戻す処理（デインタリービング）を行う。リードソロモン復号部34は、元の順序に戻されたデジタル情報に、通常復号によるリードソロモン復号処理を行い、符号化される前のデジタル情報を再現し、その情報を復号装置30の外部に出力する。

以上のようにして、図10の誤り訂正システムは、通信の際に発生した誤りを訂正し、より正確な通信を行えるようにする。

図11は、リードソロモン符号を用いて誤り訂正を行う誤り訂正システムを適用した記録再生装置の構成例を示すブロック図である。図11に示される記録再生装置は、例えば、DVD(Digital Versatile Disc)レコードプレーヤ等のデジタル記録媒体記録再生装置である。

図11の記録再生装置50は、外部より供給されたデジタル情報を、符号化

処理部 60 において符号化し、記録再生処理部 70 において記録媒体 72 に記録する。また、記録再生装置 50 は、記録媒体 72 に記録されているデジタル情報を、記録再生処理部 70 において再生し、復号処理部 80 において復号処理を行って元のデジタル情報を取得し、その情報を外部に出力する。

- 5      符号化処理部 60 は、デジタル情報に互いに異なる次元に関するリードソロモン符号を行う第 1 リードソロモン符号化部 61-1 乃至第 n リードソロモン符号化部 61-n からなる。

記録再生処理部 70 は、符号化処理部 60 より供給された情報を記録媒体 72 に記録する記録部 71、例えば光ディスク等の記録媒体 72、記録媒体 72 に記録されている情報を再生する再生部 73 からなる。

- 10      また、復号処理部 80 は、符号化処理部 60 に対応する復号器であり、デジタル情報に互いに異なる次元に関するリードソロモン復号（通常復号）を行う第 1 リードソロモン復号部 81-1 乃至第 n リードソロモン復号部 81-n からなる。

- 15      符号化処理部 60 の外部より供給されたデジタル情報は、第 1 リードソロモン符号化部 61-1 において 1 次元目に関するリードソロモン符号化が行われる。続いて、デジタル情報は、第 2 リードソロモン符号化部 61-2 乃至第 n リードソロモン符号化部 61-n の各部において、2 次元目乃至 n 次元目までの各次元目に関するリードソロモン符号が行われる。第 n リードソロモン符号化部 61-  
20      -n による符号化が終了すると、符号化処理部 60 は、符号化されたデジタル情報を記録再生処理部 70 に供給する。記録再生処理部 70 の記録部 71 は、符号化処理部 60 より供給されたデジタル情報を記録媒体 72 に記録する。

記録再生処理部 70 の再生部 73 は、記録媒体 72 に記録されているデジタル情報（符号化されたデジタル情報）を再生し、復号処理部 80 に供給する。

- 25      復号処理部 80 は、第 1 リードソロモン復号部 81-1 乃至第 n リードソロモン復号部 81-n の各部において、再生部 73 より供給されたデジタル情報に、各次元目に関するリードソロモン復号（通常復号）を行い、元のデジタル情報

を復元する。なお、復号処理部 80 は、符号化処理部 60 の場合と逆に、まず、第  $n$  リードソロモン復号部 81- $n$  において第  $n$  次元目に関するリードソロモン復号から行い、 $n-1$  次元目、 $n-2$  次元目と順に次元数を下げるようにリードソロモン復号を行い、最後に第 1 次元目に関するリードソロモン復号を行う。復号処理部 80 は、復元した元のデジタル情報を記録再生装置 50 の外部に出力する。

以上のようにして、図 11 の記録再生装置 50 は、情報の記録や再生の際に発生した情報の誤りを訂正する。

以上のようなリードソロモン符号や BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) 符号等に対する通常復号は、受信した値を「0」または「1」のみで推定する硬判定の受信語に対して行う復号方法である。

しかしながら、軟判定の受信語が得られる場合、通常、軟判定受信語を用いての復号性能に比べて、硬判定受信語を用いての復号性能は劣るので、軟判定受信語が得られるシステムにおいて、上述したようにリードソロモン符号を通常復号するようにした場合、その復号性能が良くならないという課題があった。

そこで、上述したようなサンプロダクトアルゴリズムを用いて復号する方法が考えられるが、一般の線形符号のパリティ検査行列は、通常、低密度ではないため、復号性能は良くならないという課題があった。また、仮に、与えられたパリティ検査行列が低密度であるとしても、大きな有限体上でのサンプロダクトアルゴリズムは、非常に複雑であり、その演算コストも大きくなってしまいうという課題もあった。

## 発明の開示

本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであり、一般の線形符号に対する復号方法としてサンプロダクトアルゴリズムを適用した場合に、容易に、性能の良い復号処理を行うことができるようにするものである。

本発明の第 1 の復号方法は、環  $R$  上の線形符号の検査行列に対して、値が 1 で

ある要素の密度を低密度化させる低密度化処理ステップと、低密度化処理ステップの処理により低密度化された検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとを含むことを特徴とする。

前記環は、素数のべき乗を元とする有限体であることができる。

- 5 前記線形符号は、有限体上の BCH 符号またはリードソロモン符号を含むことができる。

- 10 前記低密度化処理ステップは、検査行列の各行の線形結合を計算する線形結合計算ステップと、線形結合計算ステップの処理により計算された線形結合によって得られるベクトルの集合の中から、符号補空間を張る、より重みの低いベクトル部分集合を抽出し、ベクトル部分集合の全ベクトルを行成分とする新たな検査行列を作成する検査行列作成ステップとを含むようにすることができる。

- 15 前記低密度化処理ステップは、有限体上の検査行列を、有限体の部分体上に所定の次元で展開する展開ステップをさらに含み、線形結合計算ステップは、展開ステップの処理により展開された検査行列の各行の線形結合を計算することができる。

本発明の第 1 の復号装置は、環  $R$  上の線形符号の検査行列に対して、値が 1 である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理手段と、低密度化処理手段により低密度化された検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段とを備えることを特徴とする。

- 20 前記環は、素数のべき乗を元とする有限体であることができる。

前記線形符号は、有限体上の BCH 符号またはリードソロモン符号を含むことができる。

- 25 前記低密度化処理手段は、検査行列の各行の線形結合を計算する線形結合計算手段と、線形結合計算手段により計算された線形結合によって得られるベクトルの集合の中から、符号補空間を張る、より重みの低いベクトル部分集合を抽出し、ベクトル部分集合の全ベクトルを行成分とする新たな検査行列を作成する検査行列作成手段とを備えるようにすることができる。

前記低密度化処理手段は、有限体上の検査行列を、有限体の部分体上に所定の次元で展開する展開手段をさらに備え、線形結合計算手段は、展開手段により展開された検査行列の各行の線形結合を計算することができる。

- 5 畳み込み符号化された線形符号を軟判定復号する軟判定復号手段をさらに備え、低密度化処理手段は、軟判定復号手段により軟判定復号された線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させることができる。

前記軟判定復号手段による軟判定復号、低密度化処理手段による低密度化処理、および復号手段による復号を繰り返し実行することができる。

- 10 本発明の第1のプログラムは、環R上の線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる低密度化処理ステップと、低密度化処理ステップの処理により低密度化された検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとをコンピュータに実行させることを特徴とする。

- 15 本発明の第2の復号方法は、受信値を入力する入力ステップと、線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた検査行列と、入力ステップの処理により入力された受信値とを用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとを含むことを特徴とする。

- 20 本発明の第2の復号装置は、受信値を入力する入力手段と、線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた検査行列と、入力手段により入力された受信値とを用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段とを備えることを特徴とする。

- 25 本発明の第2のプログラムは、受信値を入力する入力ステップと、線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた検査行列と、入力ステップの処理により入力された受信値とを用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとをコンピュータに実行させることを特徴とする。

本発明の第1の記録再生装置は、環R上の線形符号を記録媒体に記録する記録

手段と、記録手段により記録された線形符号を再生する再生手段と、再生手段により再生された線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理手段と、低密度化処理手段により低密度化された検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段とを備えることを特徴とする。

前記線形符号は、所定の次元で積符号化された線形符号であり、低密度化処理手段は、検査行列に対して、各次元に対して、低密度化処理を行い、復号手段は、低密度化された検査行列の各次元に対して、サンプロダクトアルゴリズムによる復号を行うことができる。

- 10 前記低密度化処理手段による低密度化処理、および復号手段による復号を繰り返し実行することができる。

本発明の第1の記録再生方法は、環R上の線形符号の、記録媒体への記録を制御する記録制御ステップと、記録制御ステップの処理により記録が制御された線形符号の、再生を制御する再生制御ステップと、再生制御ステップの処理により再生が制御された線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理ステップと、低密度化処理ステップの処理により低密度化された検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとを含むことを特徴とする。

- 20 本発明の第3のプログラムは、環R上の線形符号の、前記記録媒体への記録を制御する記録制御ステップと、前記記録制御ステップの処理により記録が制御された前記線形符号の、再生を制御する再生制御ステップと、前記再生制御ステップの処理により再生が制御された前記線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理ステップと、前記低密度化処理ステップの処理により低密度化された前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとをコンピュータに実行させることを特徴とする。

本発明の第2の記録再生装置は、環R上の線形符号を記録媒体に記録する記録



手段と、記録手段により記録された線形符号を再生する再生手段と、線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段とを備えることを特徴とする。

5 本発明の第2の記録再生方法は、環R上の線形符号の、記録媒体への記録を制御する記録制御ステップと、記録制御ステップの処理により記録が制御された線形符号の再生を制御する再生制御ステップと、線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとを含むことを特徴とする。

10 本発明の第4のプログラムは、環R上の線形符号の、記録媒体への記録を制御する記録制御ステップと、記録制御ステップの処理により記録が制御された線形符号の再生を制御する再生制御ステップと、線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとをコンピュータに実行させることを特徴とする。

15 本発明の第1の再生装置は、記録手段により記録された、環R上の線形符号を再生する再生手段と、再生手段により再生された線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理手段と、低密度化処理手段により低密度化された検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段とを備えることを特徴とする。

20 前記線形符号は、所定の次元で積符号化された線形符号であり、低密度化処理手段は、検査行列に対して、各次元に対して、低密度化処理を行い、復号手段は、低密度化された検査行列の各次元に対して、サンプロダクトアルゴリズムによる復号を行うことができる。

25 前記低密度化処理手段による低密度化処理、および復号手段による復号を繰り返し実行することができる。

本発明の第1の再生方法は、記録媒体記録された、環R上の線形符号の再生を

制御する再生制御ステップと、再生制御ステップの処理により再生が制御された線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理ステップと、低密度化処理ステップの処理により低密度化された検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとを含むことを特徴とする。

本発明の第5のプログラムは、記録媒体記録された、環R上の線形符号の再生を制御する再生制御ステップと、再生制御ステップの処理により再生が制御された線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理ステップと、低密度化処理ステップの処理により低密度化された検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとをコンピュータに実行させることを特徴とする。

本発明の第2の再生装置は、記録媒体に記録された、環R上の線形符号を再生する再生手段と、線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段とを備えることを特徴とする。

本発明の第2の再生方法は、記録媒体に記録された、環R上の線形符号の再生を制御する再生制御ステップと、線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとを含むことを特徴とする。

本発明の第6のプログラムは、記録媒体に記録された、環R上の線形符号の再生を制御する再生制御ステップと、線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた検査行列を用いて、線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとをコンピュータに実行させることを特徴とする。

本発明においては、環R上の線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度が低密度化され、その低密度化された検査行列が用いられ、線形符号がサンプロダクトアルゴリズムにより復号される。

また本発明においては、値が1である要素の密度を低密度化させた検査行列が用いられて、線形符号がサンプロダクトアルゴリズムにより復号される。

#### 図面の簡単な説明

- 5 図1は、低密度パリティ検査行列の例を示す図である。  
図2は、図1のパリティ検査行列に対応するタナグラフを説明する図である。  
図3は、LDPC符号の復号手順を説明するフローチャートである。  
図4は、メッセージの流れを説明する図である。  
図5は、LDPC符号の検査行列の例を示す図である。
- 10 図6は、検査行列のタナグラフを示す図である。  
図7は、バリアブルノードを示す図である。  
図8は、チェックノードを示す図である。  
図9は、リードソロモン符号の検査行列の例を示す図である。  
図10は、従来の誤り訂正システムの構成例を閉めす図である。
- 15 図11は、従来の記録再生装置の構成例を示す図である。  
図12は、本発明を適用した復号装置の構成例を示す図である。  
図13は、図12の復号装置による復号処理を説明するフローチャートである。  
図14は、図13のステップS21において実行されるパリティ検査行列低密度化処理を説明するフローチャートである。
- 20 図15は、BCH符号のパリティ検査行列の例を示す図である。  
図16は、図15のパリティ検査行列に対応するタナグラフを示す図である。  
図17は、展開されたパリティ検査行列の例を示す図である。  
図18は、図17のパリティ検査行列に対応するタナグラフを示す図である。  
図19は、復号性能を比較するためのグラフである。
- 25 図20は、本発明を適用した復号装置の他の構成例を示す図である。  
図21は、図20の復号装置による復号処理を説明するフローチャートである。  
図22は、リードソロモン符号におけるパリティ検査行列の例を示す図である。

図 2 3 は、展開されたパリティ検査行列の例を示す図である。

図 2 4 は、復号性能を比較するためのグラフである。

図 2 5 は、本発明を適用した誤り訂正システムの構成例を示すブロック図である。

5 図 2 6 は、本発明を適用した誤り訂正システムの他の構成例を示すブロック図である。

図 2 7 は、本発明を適用した記録再生装置の構成例を示すブロック図である。

図 2 8 は、記録装置の構成例を示すブロック図である。

図 2 9 は、本発明を適用した再生装置の構成例を示すブロック図である。

10 図 3 0 は、本発明を適用した記録再生装置の他の構成例を示すブロック図である。

図 3 1 は、本発明を適用した再生装置の他の構成例を示すブロック図である。

図 3 2 は、本発明を適用したコンピュータの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

15

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態について説明するが、最初に本発明が適用される技術の例について説明する。

図 1 2 は、本発明を適用した復号装置の構成例を示すブロック図である。

20 図 1 2 において、復号装置 1 0 0 は、例えば BCH 符号に対応する復号装置であり、環  $R$  上の（または有限体上の）受信語のパリティ検査行列を十分低密度な行列に変換する低密度化処理部 1 1 0 および低密度化されたパリティ検査行列を用いて、受信語を復号する LDPC 復号部 1 2 1 からなる。

25 低密度化処理部 1 1 0 は、パリティ検査行列の行の線形結合を計算する線形結合計算部 1 1 1、線形結合された行を用いて、十分疎なパリティ検査行列を作成するパリティ検査行列作成部 1 1 2、および作成されたパリティ検査行列のランクが元のパリティ検査行列のランクと同じであるか否かを判定する判定処理部 1

1 3により構成される。

線形結合計算部 1 1 1 は、取得した受信語に含まれるパリティ検査行列の各行の線形結合を、全ての組み合わせについて計算する。すなわち、線形結合計算部 1 1 1 は、 $n$  行のパリティ検査行列に対して、 $2^n$  通りの組み合わせで線形結合を計算する。線形結合計算部 1 1 1 は、計算結果および受信語をパリティ検査行列作成部 1 1 2 に供給する。

パリティ検査行列作成部 1 1 2 は、線形結合計算部 1 1 1 より供給された計算結果、すなわち、線形結合された行の中から、所定の条件に従って行を抽出し、その抽出した行により構成されるパリティ検査行列を作成する。パリティ検査行列作成部 1 1 2 は、例えば、線形結合された行の中から、値が「1」の要素の数が所定の数以下の行を抽出する等、作成したパリティ検査行列の密度が疎になるように条件を設定し、その条件に該当する行を抽出する。パリティ検査行列作成部 1 1 2 は、作成したパリティ検査行列および受信語を判定処理部 1 1 3 に供給する。なお、後述するように、判定処理部 1 1 3 において、作成したパリティ検査行列のランクが元のパリティ検査行列のランクと異なると判定された場合、パリティ検査行列作成部 1 1 2 は、再度、行の抽出を行い、新たなパリティ検査行列を作成する。その際、パリティ検査行列作成部 1 1 2 は、前回行った行の抽出の条件を変更し、前回作成されたパリティ検査行列と異なる行で構成されるパリティ検査行列を作成する。

判定処理部 1 1 3 は、パリティ検査行列作成部 1 1 2 において作成されたパリティ検査行列のランク（階数）が、元のパリティ検査行列のランクと一致するかどうかを判定する。ランクが一致すると判定した場合、判定処理部 1 1 3 は、受信語と、作成されたパリティ検査行列を LDPC 復号部 1 2 1 に供給する。ランクが一致しないと判定した場合、判定処理部 1 1 3 は、処理をパリティ検査行列作成部 1 1 2 に戻し、新たなパリティ検査行列を作成させる。

以上のように、低密度化処理部 1 1 0 は、受信語に含まれる BCH 符号のパリティ検査行列の密度を低密度化させ、その低密度化されたパリティ検査行列を受

信語とともに LDPC 復号部 1 2 1 に供給する。

LDPC 復号部 1 1 2 は、取得した低密度化されたパリティ検査行列を用いて、受信語をサンプロダクトアルゴリズムにより復号し、復号された受信語を復号装置 1 0 0 の外部に出力する。

- 5      以上のように、低密度化処理部 1 1 0 が受信語のパリティ検査行列を低密度化させることにより、LDPC 復号部 1 2 1 は、その低密度のパリティ検査行列を用いて、サンプロダクトアルゴリズムを用いた復号処理を行うことができ、性能の良い復号処理を行うことができる。また、低密度化処理部 1 1 0 が受信語のパリティ検査行列を、線形結合を用いて低密度化させるので、LDPC 復号部 1 2 1 は、  
10   部分体上の復号を行うことができ、演算コストを削減することもできる。すなわち、サンプロダクトアルゴリズムを用いた復号処理を行う前に、パリティ検査行列の密度を、線形結合により低密度化させることにより、復号装置 1 0 0 は、容易に、性能の良い復号処理を行うことができる。

- 15   次に、以上のような復号装置による復号処理について、図 1 3 のフローチャートを参照して説明する。

最初に、復号装置 1 0 0 の低密度化処理部 1 1 0 は、ステップ S 2 1 において、パリティ検査行列低密度化処理を実行し、取得した受信語に含まれるパリティ検査行列の密度を疎にする。パリティ検査行列低密度化処理の詳細については、図 1 4 のフローチャートを参照して後述する。

- 20   そして、ステップ S 2 2 において、LDPC 復号部 1 2 1 は、ステップ S 2 1 の処理により低密度化されたパリティ検査行列を利用し、サンプロダクトアルゴリズム (SPA) を用いた復号処理を行う。ステップ S 2 2 の処理が終了すると、LDPC 復号部 1 2 1 は、その受信語に対する復号処理を終了する。なお、復号装置 1 0 0 は、上述した復号処理を受信語毎 (ブロック毎) に実行する。

- 25   次に、図 1 4 のフローチャートを参照して、図 1 3 のステップ S 2 1 において実行されるパリティ検査行列低密度化処理の詳細を説明する。

最初に、ステップ S 4 1 において、低密度化処理部 1 1 0 の線形結合計算部 1

1 1 は、取得した受信語に含まれるパリティ検査行列の各行を用いて、全ての組み合わせで線形結合を行い、結合結果を計算する。

線形結合を計算した線形結合計算部 1 1 1 は、ステップ S 4 2 において、後述するように行の抽出条件となる変数  $n$  の値を、例えば「1」等の初期値に設定する。そして、線形結合計算部 1 1 1 は、受信語、線形結合の計算結果、および変数  $n$  をパリティ検査行列作成部 1 1 2 に供給し、ステップ S 4 3 に処理を進める。

ステップ S 4 3 において、パリティ検査行列作成部 1 1 2 は、取得した線形結合結果のそれぞれについて値が「1」の要素の数  $weight$  を算出し、全ての線形結合結果の中から、値が「1」の要素の数  $weight$  が変数  $n$  以下であるものを抽出し、それらを行とする新たな低密度のパリティ検査行列を作成する。

すなわち、パリティ検査行列作成部 1 1 2 は、線形結合計算部 1 1 1 において計算された線形結合によって得られるベクトルの集合の中から、符号補空間を張る、より重みの低いベクトル部分集合を抽出し、ベクトル部分集合の全ベクトルを行成分とする新たなパリティ検査行列を作成する。

新たなパリティ検査行列を作成したパリティ検査行列作成部 1 1 2 は、ステップ S 4 4 に処理を進め、変数  $n$  の値に「1」を加算し、受信語、作成したパリティ検査行列、および、変数  $n$  を判定処理部 1 1 3 に供給する。

受信語、作成したパリティ検査行列、および、変数  $n$  を供給された判定処理部 1 1 3 は、ステップ S 4 5 において、受信語に含まれる元のパリティ検査行列に関する情報に基づいて、元のパリティ検査行列のランク（階数）と、低密度のパリティ検査行列のランク（階数）とが一致するか否かを判定する。

例えば、低密度のパリティ検査行列のランクが低く、元のパリティ検査行列と一致しないと判定した場合、判定処理部 1 1 3 は、ステップ S 4 3 に処理を戻し、それ以降の処理を繰り返す。すなわち、判定処理部 1 1 3 は、パリティ検査行列作成部 1 1 2 にその判定結果を供給し、再度、パリティ検査行列作成部 1 1 2 に低密度のパリティ検査行列を作成させる。その際、線形結合結果より抽出する条件となる変数  $n$  の値が前回の処理の時と異なるので、パリティ検査行列作成部 1

1 2は、前回と異なる行を有する（前回と要素が異なる）低密度のパリティ検査行列を作成することができる。

ステップS 4 5において、元のパリティ検査行列のランク（階数）と、低密度のパリティ検査行列のランク（階数）とが一致すると判定した場合、判定処理部

5 1 1 3は、ステップS 4 6に処理を進め、受信語、および、作成された低密度のパリティ検査行列を LDPC 復号部 1 2 1に出力し、図 1 3のステップS 2 2に処理を戻す。

以上のように、復号処理、およびパリティ検査行列低密度化処理を実行することにより、復号装置 1 0 0は、サンプロダクトアルゴリズムを用いた復号処理を行  
10 う前に、パリティ検査行列の密度を線形結合により低密度化させるので、容易に、性能の良い復号処理を行うことができる。

次に、以上の復号装置 1 0 0を用いた具体的な低密度化の例について説明する。

以下においては、有限体を素数のべき乗を元とする有限体  $GF(2^4)$  ( $GF(2)$ の  
4次拡大体) とし、線形符号Cとして、符号長 1 5、情報長 7の(1 5, 7)-BC  
15 H符号を復号する場合について説明する。

線形符号Cのパリティ検査行列Hが、例えば、図 1 5のように与えられるとする。  
図 1 5に示されるパリティ検査行列Hは8行 1 5列の行列であり、このパ  
リティ検査行列Hに対応するタナグラフは図 1 6のように表される。図 1 6のタ  
ナグラフは、図 1 5に示されるパリティ検査行列Hの各列を「=」で示される  
20 バリアブルノードで表し、各行を「+」で示されるチェックノードで表したグラ  
フであり、バリアブルノードとチェックノードを結ぶエッジ (edge) の密度が  
高くなっており、図 1 5のパリティ検査行列Hが低密度の行列でないことを示し  
ている。

図 1 2の低密度化処理部 1 1 0は、上述したように、この8行を用いて線形結  
25 合を行い、「1」の密度が少ない  $2^8 = 256$  個の行ベクトルを作成する。そし  
て、低密度化処理部 1 1 0は、「1」の個数が4以下の行ベクトルを15個抽出  
し、15元ベクトルを縦に並べて作成した、図 1 7に示されるような新しい行列



$H_{sp4}$  を作成する。図 17 に示される行列  $H_{sp4}$  に対応するタナグラフは、図 18 に示されるようになる。図 17 に示される行列  $H_{sp4}$  の行数および列数がともに 15 であるので、図 18 に示されるタナグラフのバリエブルノードおよびチェックノードの数がともに 15 個になり、図 16 の場合と比較して、バリエブルノードとチェックノードを結ぶエッジ (edge) の密度が低くなっている。

低密度化処理部 110 は、この行列  $H_{sp4}$  をパリティ検査行列とし、LDPC 復号部 121 に供給する。LDPC 復号部 121 は、図 17 に示される低密度のパリティ検査行列  $H_{sp4}$  を用いて、受信語に対して、サンプロダクトアルゴリズムを適用した復号を行う。

図 19 は、このようなパリティ検査行列を有する BCH 符号をビタビ (Viterbi) 復号により最尤復号した場合と、図 17 に示されるような低密度パリティ検査行列  $H_{sp4}$  を用いてサンプロダクトアルゴリズムによる復号を行った場合の復号性能の比較を示すグラフである。

図 19 において、曲線 131 は、サンプロダクトアルゴリズム (SPA) による復号結果の、ビットエラーレート (BER) を示しており ((2) bch 15 7(wgt4) SPA BER)、曲線 132 は、ビタビ復号による復号結果のビットエラーレート (BER) を示している ((1) bch 15 7 ML BER)。また、点 133 によりプロットされたデータは、サンプロダクトアルゴリズムによる復号結果のフレームエラーレート (FER) を示しており ((2) bch 15 7(wgt4) SPA FER)、点 134 によりプロットされたデータは、ビタビ復号による復号結果のフレームエラーレート (FER) を示している ((1) bch 15 7 ML FER)。

最尤復号 (図 19 の曲線 132) は、サンプロダクトアルゴリズムの様な確率的復号を用いた場合の性能限界であるが、図 19 に示されるように本発明を用いた曲線 131 は、その性能限界に迫る性能をあげている。

以上のように、復号装置 100 は、BCH 符号に対して、サンプロダクトアルゴリズムを用いた復号処理を行う前に、パリティ検査行列の密度を線形結合により低密度化させるので、容易に、性能の良い復号処理を行うことができる。

なお、以上においては、BCH 符号に対する復号処理について説明したが、これに限らず、例えば、リードソロモン符号等のように、一般的な線形符号であればどのような符号方法であってもよい。以下に、リードソロモン符号に対してサムプロダクトアルゴリズムを適用した復号を行う場合について説明する。

5 図 20 は、本発明を適用した復号装置の他の構成例を示すブロック図である。

図 20 において、復号装置 150 は、例えばリードソロモン符号に対応する復号装置であり、受信語のパリティ検査行列を展開する展開処理部 161、展開されたパリティ検査行列を十分低密度な行列に変換する低密度化処理部 170、および低密度化されたパリティ検査行列を用いて、受信語を復号する LDPC 復号部  
10 181 からなる。

展開処理部 161 は、パリティ検査行列の低密度化処理の前処理として、取得した受信語に含まれるパリティ検査行列の各要素をその行列の有限体の次元に応じて、それぞれ所定の次数に展開する。すなわち、展開処理部 161 は、素数のべき乗を元とする有限体上のパリティ検査行列を、その有限体の部分体上に所定の次元で展開する。展開処理部 161 は、その展開されたパリティ検査行列および受信語を低密度化処理部 170 に供給する。  
15

低密度化処理部 170 は、パリティ検査行列の行の線形結合を計算する線形結合計算部 171、線形結合された行を用いて十分疎なパリティ検査行列を作成するパリティ検査行列作成部 172、および作成されたパリティ検査行列のランクが元のパリティ検査行列のランクと同じであるか否かを判定する判定処理部 173 により構成される。これらの各部の構成および動作は、それぞれ、図 12 に示される復号装置 100 の低密度化処理部 110 の場合と同様であるので、それらの説明は省略する。すなわち、低密度化処理部 170 を構成する線形結合計算部 171 乃至判定処理部 173 は、図 12 に示される線形結合計算部 111 乃至判定処理部 113 にそれぞれ対応する。ただし、低密度化処理部 170 は、展開処理部 161 より供給された、展開されたパリティ検査行列に対して低密度化処理を行う。  
20  
25

低密度化処理部 170 は、展開処理部 161 により展開されたリードソロモン符号のパリティ検査行列の密度を低密度化させ、その低密度化されたパリティ検査行列を受信語とともに LDPC 復号部 181 に供給する。

LDPC 復号部 181 は、取得した低密度化されたパリティ検査行列を用いて、  
5 受信語をサンプロダクトアルゴリズムにより復号し、復号された受信語を復号装置 150 の外部に出力する。

以上のように、低密度化処理部 170 がパリティ検査行列を低密度化させる前に、展開処理部 161 によりパリティ検査行列の展開を行うことにより、LDPC 復号部 181 による、低密度化されたパリティ検査行列  $H_{sp24}$  を用いたサンプロ  
10 ダクトアルゴリズムによる復号処理の演算コストは、以下に示される式 (8) のように、受信語に含まれるパリティ検査行列  $H$  を用いてサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行った場合と比べて、約 4 分の 1 に削減される。

$$\{H_{sp24} \text{上} SPA\} \sim \frac{1}{4} \{H \text{上} SPA\} \quad \dots (8)$$

従って、復号装置 150 は、容易に、性能の良い復号処理を容易に行うことが  
15 できる。

次に、以上のような復号装置 150 による復号処理について、図 21 のフローチャートを参照して説明する。

最初に、復号装置 150 の展開処理部 161 は、ステップ S61 において、取得した受信語に含まれるパリティ検査行列をその有限体の次元に合わせて展開する。そして、展開処理部 161 は、展開したパリティ検査行列および受信語を低  
20 密度化処理部 170 に供給し、処理をステップ S62 に進める。

低密度化処理部 170 は、ステップ S62 において、パリティ検査行列低密度化処理を実行し、展開されたパリティ検査行列の密度を疎にする。パリティ検査行列低密度化処理の詳細については、図 14 のフローチャートを参照して説明した  
25 場合と同様であるのでその詳細な説明は省略する。ただし、この場合のパリティ検査行列低密度化処理において、低密度化処理部 170 は、上述したように展

開処理部 1 6 1 により展開されたパリティ検査行列を低密度化させるように処理を行う。

そして、ステップ S 6 3 において、LDPC 復号部 1 8 1 は、ステップ S 6 2 の処理により低密度化されたパリティ検査行列を利用し、サンプロダクトアルゴリズム (SPA) を用いた復号処理を行う。ステップ S 6 3 の処理が終了すると、LDPC 復号部 1 2 1 は、その受信語に対する復号処理を終了する。なお、復号装置 1 5 0 は、上述した復号処理を受信語毎 (ブロック毎) に実行する。

以上のように、復号処理を実行することにより、復号装置 1 5 0 は、低密度化処理を行う前に、パリティ検査行列の各要素を展開させるので、容易に、性能の良い復号処理を行うことができる。

次に、以上の復号装置 1 5 0 を用いた具体的な展開の例について説明する。

以下においては、有限体を  $GF(2^4)$  とし、線形符号 C として、符号長 1 5、情報長 1 1 の (1 5, 1 1)-リードソロモン符号を復号する場合について説明する。なお、 $GF(2^4)$  の原始根を  $\alpha$  とし、その原始根  $\alpha$  からなる原始多項式を式 (9) とし、符号の生成多項式を式 (1 0) とする。

$$\alpha^4 + \alpha + 1 = 0 \quad \dots (9)$$

$$g(x) := (x+1)(x+\alpha)(x+\alpha^2)(x+\alpha^3) \quad \dots (10)$$

このときの線形符号 C のパリティ検査行列は、図 2 2 に示されるように与えられる。図 2 2 に示されるパリティ検査行列 H は 4 行 1 5 列の行列である。ところで、有限体  $GF(2^4)$  は、 $GF(2)$  の 4 次拡大体であることから、有限体  $GF(2^4)$  上の元、行列を全て 4 次元に展開することが可能である。復号装置 1 5 0 の展開処理部 1 6 1 は、図 2 2 に示されるパリティ検査行列 H を展開し、図 2 3 に示されるような 1 6 行 6 0 列のパリティ検査行列  $H_{exp}$  に変換する。この場合、展開処理部 1 6 1 は、図 2 2 に示されるパリティ検査行列 H の各要素を  $4 \times 4$  の要素群に展開することで、図 2 3 に示されるパリティ検査行列  $H_{exp}$  を生成する。

復号装置 1 5 0 の低密度化処理部 1 7 0 は、この展開されたパリティ検査行列  $H_{exp}$  に対して低密度化処理を行い、LDPC 復号部 1 8 1 は、低密度化されたパリティ検査行列

ティ検査行列  $H_{exp}$  を用いて、サムプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行う。

図 2 4 は、このようなパリティ検査行列を有するリードソロモン符号を通常復号した場合と、図 2 3 の展開されたパリティ検査行列  $H_{exp}$  を低密度化したパリティ検査行列  $H_{sp24}$  を用いてサムプロダクトアルゴリズムによる復号を行った場合の復号性能の比較を示すグラフである。

図 2 4 において、曲線 1 9 1 は、低密度化したパリティ検査行列  $H_{sp24}$  を用いてサムプロダクトアルゴリズム (SPA) による復号を行った場合の復号結果の、ビットエラーレート (BER) を示しており ((4) RS wgt24 SPA BER)、曲線 1 9 2 は、通常復号による復号結果のビットエラーレート (BER) を示している ((3) RS ORD BER)。また、点 1 9 3 によりプロットされたデータは、低密度化したパリティ検査行列  $H_{sp24}$  を用いてサムプロダクトアルゴリズムによる復号を行った場合の復号結果のフレームエラーレート (FER) を示しており ((4) RS wgt24 SPA FER)、点 1 9 4 によりプロットされたデータは、通常復号による復号結果のフレームエラーレート (FER) を示している ((3) RS ORD FER)。

図 2 4 に示されるように、本発明を用いた復号の復号結果である曲線 1 9 1 (点 1 9 3) は、通常復号の場合の復号結果である曲線 1 9 2 (点 1 9 4) と比較して、より良い性能が得られている。

以上のように、復号装置 1 5 0 は、リードソロモン符号に対して、サムプロダクトアルゴリズムを用いた復号処理を行う前に、パリティ検査行列の密度を線形結合により低密度化させるので、容易に、性能の良い復号処理を行うことができる。また、復号装置 1 5 0 は、パリティ検査行列を低密度化させる前に、パリティ検査行列の各要素、行列を展開するので、演算コストを低く抑えることができる。

図 2 5 は、本発明を適用した、リードソロモン符号を用いた誤り訂正システムの構成例を示すブロック図である。図 2 5 に示される誤り訂正システムは、例え

ば、デジタルテレビ等のデジタル通信システムに用いられるシステムである。

図 25 の誤り訂正システムにおいては、送信側である符号化装置 210 より送信されたデジタル情報が、例えばインターネットに代表される通信路 221 を介して、受信側である復号装置 230 に供給される。

- 5      符号化装置 210 は、外部より供給された送信用のデジタル情報を、リードソロモン符号を用いて符号化するリードソロモン符号化部 211、符号化されたデジタル情報の並べ替えを行うインタリーバ 212、畳み込み符号化を行う畳み込み符号化部 213、並びに、通信路 221 を介して、復号装置 230 と通信を行う通信処理部 214 からなる。
- 10      リードソロモン符号化部 211 は、符号化装置 210 の外部より供給されたデジタル情報に対して、リードソロモン符号を用いた符号化処理を行い、符号化されたデジタル情報をインタリーバ 212 に供給する。インタリーバ 212 は、その符号化されたデジタル情報を、主に通信路 221 において発生するバースト的誤りを拡散させるために、情報の並べ替え（インタリービング）を行う。
- 15      リードソロモン符号は複数ビットを 1 シンボルとする誤り訂正を行うので、インタリーバ 212 は、シンボル単位でバースト的誤りを拡散するシンボルインタリービングを行う。情報の並べ替えを終了したインタリーバ 212 は、その並び替えられたデジタル情報を畳み込み符号化部 213 に供給する。
- 20      畳み込み符号化部 213 は、並び替えられたデジタル情報に対して、過去に符号化した情報を参照し、複数の情報ブロックに基づいて、逐次的に符号系列が定まる畳み込み符号を行う。例えば、拘束長  $K$  の畳み込み符号化部 213 は、インタリーバ 212 よりデジタル情報が  $k$  ビットの情報ブロック毎に供給されると、今回供給された情報ブロックだけでなく、過去に供給された情報ブロックも含めた  $K$  個の情報ブロックに基づいて、 $n$  ビットの符号ブロックに符号化する。
- 25      畳み込み符号化が完了すると、畳み込み符号化部 213 は、畳み込み符号化されたデジタル情報を通信処理部 214 に供給する。

通信処理部 214 は、通信制御処理を行い、所定のプロトコルに基づいて、供

給されたデジタル情報を送信語として、通信路 2 2 1 を介して復号装置 2 3 0 に送信する。

符号化装置 2 1 0 より出力されたデジタル情報は、通信路 2 2 1 を介して復号装置 2 3 0 に供給される。

- 5      復号装置 2 3 0 は、通信路 2 2 1 を介して供給されたデジタル情報を、受信語として受信する通信処理部 2 3 1、通信処理部 2 3 1 が取得した受信語に対して、畳み込み復号処理を行う畳み込み復号部 2 3 2、畳み込み復号された受信語を元の順序に並び替えるデインタリーバ 2 3 3、並びに、元の順序に戻されたデジタル情報に、サムプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行い、リードソ  
10      ロモン符号化される前のデジタル情報を復元するリードソロモン SPA 復号部 2 3 4 からなる。

- 通信処理部 2 3 1 は、通信路 2 2 1 を介して符号化装置 2 1 0 の通信処理部 2 1 4 と通信を行い、所定のプロトコルに基づいて、通信処理部 2 1 4 より供給されたデジタル情報を受信語として取得する。通信処理部 2 3 1 は、取得した受  
15      信語を畳み込み復号部 2 3 2 に供給する。

- 畳み込み復号部 2 3 2 は、符号化装置 2 1 0 の畳み込み符号化部 2 1 3 による符号化方法に対応した方法で、送信処理部 2 3 1 より供給された受信語を復号する。すなわち、畳み込み復号部 2 3 2 は、受信語に対して、例えば、事後確率最大化復号(MAP 復号 (Maximum a posteriori probability decoding))を実現  
20      する BCJR (Bahl, Cocke, Jelinek, and Raviv) アルゴリズムや SOVA(soft output Viterbi algorithm)等を用いて、軟判定復号を行う。そして、畳み込み復号部 2 3 2 は、この軟判定復号された受信語をデインタリーバ 2 3 3 に供給する。

- デインタリーバ 2 3 3 は、供給された受信語に対して、符号化装置 2 1 0 のイ  
25      ンタリーバ 2 1 2 において行われたインタリービングに対応した方法で情報の並び替えを行い、並び替えられた情報を元の順序に戻す処理(デインタリービング)を行い、元の順序に並び替えられた受信語を、リードソロモン SPA 復号部

2 3 4に供給する。

リードソロモン SPA 復号部 2 3 4 は、図 2 0 に示される復号装置 1 5 0 と基本的に同様の構成であり、基本的に同様の動作を行い、復号装置 1 5 0 の場合と同様に、図 2 0 のブロック図、および図 2 1 に示されるフローチャートを適用することができるので、その詳細な説明を省略する。

リードソロモン SPA 復号部 2 3 4 は、リードソロモン符号化された受信語に対して、そのパリティ検査行列を展開するとともに低密度化し、そのパリティ検査行列を用いて、サムプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行い、符号化される前の元のデジタル情報を復元する。リードソロモン SPA 復号部 2 3 4 は、  
10 復号したデジタル情報を復号装置 2 3 0 の外部に出力する。

以上のようにして、図 2 5 の誤り訂正システムは、容易に、性能の良い復号処理を行うことができ、より正確な通信を行うことができる。また、復号装置 2 3 0 は、パリティ検査行列を低密度化させる前に、パリティ検査行列の各要素、行列を展開するので、復号処理の演算コストを低く抑えることができる。

15 なお、以上においては、誤り訂正システムは、リードソロモン符号を復号するように説明したが、これに限らず、例えば、BCH 符号を復号するようにしてもよい。

図 2 6 は、本発明を適用した、リードソロモン符号を用いた誤り訂正システムの他の構成例を示すブロック図である。図 2 6 に示される誤り訂正システムは、  
20 例えば、デジタルテレビ等のデジタル通信システムに用いられるシステムである。図 2 5 に示される場合と同様の部分については同一の符号を付しており、その説明を省略する。

図 2 6 の誤り訂正システムにおいては、送信側である符号化装置 2 1 0 において符号化されたデジタル情報が、例えばインターネットに代表される通信路 2  
25 2 1 を介して、受信側である復号装置 2 4 0 に供給される。

復号装置 2 4 0 は、通信路 2 2 1 を介して供給されたデジタル情報を、受信語として受信する通信処理部 2 4 1、通信処理部 2 4 1 が取得した受信語に対し



て、畳み込み復号処理を行う畳み込み復号部 2 4 2、畳み込み復号された受信語を元の順序に並び替えるデインタリーバ 2 4 3、元の順序に戻されたデジタル情報に、サンプラダクトアルゴリズムによる復号処理を行い、リードソロモン符号化される前のデジタル情報を復元するリードソロモン SPA 復号部 2 4 4、  
5 並びに、符号化装置 2 1 0 のインタリーバ 2 1 2 と同様に、デジタル情報の並び替えを行うインタリーバ 2 4 5 からなる。

通信処理部 2 4 1 は、図 2 5 の通信処理部 2 3 1 の場合と同様に、通信路 2 2 1 を介して符号化装置 2 1 0 の通信処理部 2 1 4 と通信を行い、所定のプロトコルに基づいて、通信処理部 2 1 4 より供給されたデジタル情報を受信語として  
10 取得する。通信処理部 2 4 1 は、取得した受信語を畳み込み復号部 2 4 2 に供給する。

畳み込み復号部 2 4 2 は、図 2 5 の畳み込み復号部 2 3 2 の場合と同様に、符号化装置 2 1 0 の畳み込み符号化部 2 1 3 による符号化方法に対応した方法で、送信処理部 2 4 1 より供給された受信語を復号する。すなわち、畳み込み復号部  
15 2 4 2 は、受信語に対して、例えば、BCJR アルゴリズムや SOVA 等を用いて、軟判定復号を行う。そして、畳み込み復号部 2 4 2 は、この軟判定復号された受信語をデインタリーバ 2 4 3 に供給する。また、畳み込み復号部 2 4 2 には、インタリーバ 2 4 5 より、サンプラダクトアルゴリズムによる復号が行われた受信語が再度並び替えられて供給される。畳み込み復号部 2 4 2 は、この受信語に対  
20 しても、通信処理部 2 4 1 より供給された受信語の場合と同様に、例えば、BCJR アルゴリズムや SOVA 等を用いて、軟判定復号を行い、デインタリーバ 2 4 3 に供給する。

デインタリーバ 2 4 3 は、図 2 5 のデインタリーバ 2 3 3 の場合と同様に、畳み込み復号部 2 4 2 より供給された受信語に対して、符号化装置 2 1 0 のインタ  
25 リーバ 2 1 2 において行われたインタリービングに対応した方法で情報の並び替えを行い、並び替えられた情報を元の順序に戻す処理（デインタリービング）を行い、元の順序に並び替えられた受信語を、リードソロモン SPA 復号部 2 4 4

に供給する。なお、上述したように、畳み込み復号部 242 より供給される受信語には、通信処理部 241 から畳み込み復号部 242 を介して供給される受信語の他に、インタリーバ 245 から畳み込み復号部 242 を介して供給される受信語も含まれる。

- 5      リードソロモン SPA 復号部 244 は、図 25 のリードソロモン SPA 復号部 244 の場合と同様に、図 20 に示される復号装置 150 と基本的に同様の構成であり、基本的に同様の動作を行い、復号装置 150 の場合と同様に、図 20 のブロック図、および図 21 に示されるフローチャートを適用することができる。

- 10      リードソロモン SPA 復号部 244 は、デインタリーバ 243 より取得した受信語に対して、その受信語に含まれるパリティ検査行列を展開するとともに低密度化し、そのパリティ検査行列を用いてサムプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行い、符号化される前の元のデジタル情報を復元する。リードソロモン SPA 復号部 244 は、復号したデジタル情報を復号装置 240 の外部に出力する。また、リードソロモン SPA 復号部 244 は、その復号したデジタル情報  
15      をインタリーバ 245 に供給する。

インタリーバ 245 は、符号化装置 210 のインタリーバ 212 と同様に、取得したデジタル情報を所定の順番に並び替える。このインタリーバ 245 による並び替えのパターンは、インタリーバ 212 と同様である。このようにして並び替えられたデジタル情報は、畳み込み復号部 242 に供給される。

- 20      以上のように、復号装置 240 は、通信処理部 241 において取得した受信語に対して、デインタリーバ 243 とインタリーバ 245 を介しながら、畳み込み復号部 242 による軟判定復号と、リードソロモン SPA 復号部 244 によるサムプロダクトアルゴリズムを用いた復号とを繰り返し行い、復号処理における復号誤り確率を小さくしていく。なお、この復号の繰り返し回数は、予め定められていてもよいし、例えば、誤り訂正する箇所の数等のような所定の条件に基づいて、繰り返しを中止するか否かが判定されるようにしてもよい。

このようにすることで、復号装置 240 は、容易に性能の良い復号処理を行う

ことができ、図 26 の誤り訂正システムは、より正確な通信を行うことができる。  
また、復号装置 240 は、パリティ検査行列を低密度化させる前に、パリティ検査行列の各要素、行列を展開するので、復号処理の演算コストを低く抑えることができる。

- 5      なお、以上において、リードソロモン SPA 復号部 244 は、復号したデジタル情報を復号装置 240 の外部に出力するとともにインタリーバ 245 に供給するように説明したが、これに限らず、例えば、復号を繰り返している間は、インタリーバ 245 にのみ復号したデジタル情報を供給するようにし、復号の繰り返しが終了した場合に、デジタル情報の出力先をインタリーバ 245 から復  
10   号装置 240 の外部に切り替えて、復号したデジタル情報を出力するようにしてもよい。

なお、以上においては、誤り訂正システムは、リードソロモン符号を復号するように説明したが、これに限らず、例えば、BCH 符号を復号するようにしてもよい。

- 15      図 27 は、本発明を適用した、リードソロモン符号を用いて誤り訂正を行う誤り訂正システムを適用した記録再生装置の構成例を示すブロック図である。図 27 に示される記録再生装置は、例えば、DVD レコードプレーヤ等のデジタル記録媒体記録再生装置である。

- 20      図 27 の記録再生装置 250 は、外部より供給されたデジタル情報を、符号化処理部 260 において符号化し、記録再生処理部 270 において記録媒体 272 に記録する。また、記録再生装置 250 は、記録媒体 272 に記録されているデジタル情報を、記録再生処理部 270 において再生し、復号処理部 280 において復号処理を行って元のデジタル情報を取得し、その情報を外部に出力する。

- 25      符号化処理部 260 は、デジタル情報に互いに異なる次元に関するリードソロモン符号を行う第 1 リードソロモン符号化部 261-1 乃至第 n リードソロモン符号化部 261-n からなる。

符号化処理部 260 の外部より供給されたデジタル情報は、第 1 リードソロモン符号化部 261-1 において 1 次元目に関するリードソロモン符号化が行われる。続いて、デジタル情報は、第 2 リードソロモン符号化部 261-2 乃至第 n リードソロモン符号化部 261-n の各部において、2 次元目乃至 n 次元目  
5 までの各次元目に関するリードソロモン符号が順に行われる。第 n リードソロモン符号化部 261-n による符号化が終了すると、符号化処理部 260 は、符号化されたデジタル情報を記録再生処理部 270 に供給する。

記録再生処理部 270 は、符号化処理部 260 より供給された情報を記録媒体 272 に記録する記録部 271、例えば光ディスク等の記録媒体 272、記録媒  
10 体 272 に記録されている情報を再生する再生部 273 からなる。

記録再生処理部 270 の記録部 271 は、符号化処理部 260 より供給されたデジタル情報を NRZI (Non Return to Zero Invert) 変換 (NRZI 符号化) するなどして記録媒体 272 に記録する。また、記録再生処理部 270 の再生部 273 は、記録媒体 272 に記録されているデジタル情報 (リードソロモン符号  
15 化されたデジタル情報) を再生し、そのデジタル情報に施された NRZI 変換を元に戻し (復号し)、そのデジタル情報を復号処理部 280 に供給する。

復号処理部 280 は、符号化処理部 260 に対応する復号器であり、デジタル情報に互いに異なる次元に関して、サンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行う第 1 リードソロモン SPA 復号部 281-1 乃至第 n リードソロモン SPA  
20 復号部 281-n からなる。

第 1 リードソロモン SPA 復号部 281-1 乃至第 n リードソロモン SPA 復号部 281-n は、それぞれ、符号化処理部 260 の第 1 リードソロモン符号化部 261-1 乃至第 n リードソロモン符号化部 261-n に対応し、各次元に関するリードソロモン符号に対して、サンプロダクトアルゴリズムによる復号を行う。  
25 第 1 リードソロモン SPA 復号部 281-1 乃至第 n リードソロモン SPA 復号部 281-n は、それぞれ、図 20 に示される復号装置 150 と基本的に同様の構成であり、基本的に同様の動作を行う。従って、第 1 リードソロモン SPA 復号

部 2 8 1 - 1 乃至第  $n$  リードソロモン SPA 復号部 2 8 1 -  $n$  は、それぞれ、復号装置 1 5 0 の場合と同様に、図 2 0 のブロック図、および図 2 1 に示されるフローチャートを適用することができる。

5 復号処理部 2 8 0 は、第 1 リードソロモン SPA 復号部 2 8 1 - 1 乃至第  $n$  リードソロモン SPA 復号部 2 8 1 -  $n$  の各部において、再生部 2 7 3 より供給されたデジタル情報に対して、パリティ検査行列の各要素、行列を展開し、そのパリティ検査行列を低密度化して、各次元目に関するサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行う。その際、復号処理部 2 8 0 は、図 2 7 に示されるように、符号化処理部 2 6 0 の場合と逆に、まず、第  $n$  リードソロモン SPA 復号部  
10 2 8 1 -  $n$  において第  $n$  次元目に関するサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理から行い、続いて、直列に接続される各リードソロモン SPA 復号部において、それぞれ、 $n - 1$  次元目、 $n - 2$  次元目と順に次元数を下げるようにサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行い、最後に第 1 リードソロモン SPA 復号部 2 8 1 - 1 において第 1 次元目に関するサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行う。復号処理部 2 8 0 は、このようにして復元した元のデジタル  
15 情報を記録再生装置 2 5 0 の外部に出力する。

このようにすることにより、復号処理部 2 8 0 は、容易に性能の良い復号処理を行うことができ、記録再生装置 2 5 0 は、より正確にデジタル情報の記録および再生を行うことができる。また、復号処理部 2 8 0 は、パリティ検査行列を  
20 低密度化させる前に、パリティ検査行列の各要素、行列を展開するので、復号処理の演算コストを低く抑えることができる。

なお、以上においては、記録再生装置 2 5 0 は、リードソロモン符号を復号するように説明したが、これに限らず、例えば、BCH 符号を復号するようにしてもよい。

25 以上においては、デジタル情報の記録および再生を行う記録再生装置の例について説明したが、この記録再生装置 2 5 0 の、デジタル情報を記録媒体に記録する記録機能と、記録媒体に記録されているデジタル情報を再生する再生機

能とが別体として構成されるようにしてもよい。

図 28 は、図 27 の記録再生装置 250 と同様の記録機能を有する記録装置の構成例を示すブロック図である。なお、図 27 に示される場合と同様の部分については同一の符号を付しており、その説明を省略する。

- 5 図 28 の記録装置 300 は、第 1 リードソロモン符号化部 261-1 乃至第 n リードソロモン符号化装置 261-n からなる符号化処理部 260、並びに、記録部 271 および記録媒体 272 からなる記録処理部 310 を有する。記録装置 300 の符号化処理部 260 の外部より供給されたデジタル情報は、最初に、第 1 リードソロモン符号化部 261-1 において 1 次元目に関するリードソロモン符号化が行われる。続いて、その 1 次元目に関して符号化されたデジタル情報
- 10 は、第 2 リードソロモン符号化部 261-2 乃至第 n リードソロモン符号化部 261-n の各部に順に供給され、各部において、2 次元目乃至 n 次元目までの各次元目に関するリードソロモン符号が行われる。第 n リードソロモン符号化部 261-n による符号化が終了すると、符号化処理部 260 は、符号化されたデジタル情報を記録処理部 310 に供給する。
- 15

記録処理部 310 は、符号化処理部 260 より供給された情報を記録媒体 272 に記録する記録部 271、および、例えば光ディスク等の記録媒体 272 を含む。記録処理部 310 の記録部 271 は、符号化処理部 260 より供給されたデジタル情報を NRZI 変換 (NRZI 符号化) するなどして記録媒体 272 に記録する。

20

すなわち、記録装置 300 は、図 27 の記録再生装置 250 と同様に、符号化処理部 260 においてデジタル情報をリードソロモン符号化し、記録処理部 310 の記録部 271 の制御により、そのリードソロモン符号化されたデジタル情報を記録媒体 272 に記録する。

- 25 このような記録装置 300 に対応する再生装置を図 29 に示す。なお、図 27 に示される場合と同様の部分については同一の符号を付しており、その説明を省略する。

図 29 の再生装置 350 は、図 28 に示される記録装置 300 に対応する再生装置であり、第 1 リードソロモン SPA 復号部 281-1 乃至第  $n$  リードソロモン符号化装置 281- $n$  からなる復号処理部 280、並びに、記録媒体 272 および再生部 273 からなる再生処理部 350 を有する。再生装置 350 の再生部 273 は、記録媒体 272 に記録されているデジタル情報（リードソロモン符号化されたデジタル情報）を再生し、そのデジタル情報に施された NRZI 変換を元に戻し（復号し）、そのデジタル情報を復号処理部 280 に供給する。

復号処理部 280 は、第 1 リードソロモン SPA 復号部 281-1 乃至第  $n$  リードソロモン SPA 復号部 281- $n$  の各部において、再生部 273 より供給されたデジタル情報に対して、パリティ検査行列の各要素、行列を展開し、そのパリティ検査行列を低密度化して、各次元目に関するサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行う。その際、復号処理部 280 は、図 29 に示されるように、符号化処理部 260 の場合と逆に、まず、第  $n$  リードソロモン SPA 復号部 281- $n$  において第  $n$  次元目に関するサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理から行い、続いて、直列に接続される各リードソロモン SPA 復号部において、それぞれ、 $n-1$  次元目、 $n-2$  次元目と順に次元数を下げるようにサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行い、最後に第 1 リードソロモン SPA 復号部 281-1 において第 1 次元目に関するサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行う。復号処理部 280 は、このようにして復元した元のデジタル情報を再生装置 350 の外部に出力する。

このようにすることにより、復号処理部 280 は、容易に性能の良い復号処理を行うことができ、再生装置 350 は、より正確にデジタル情報の再生を行うことができる。また、復号処理部 280 は、パリティ検査行列を低密度化させる前に、パリティ検査行列の各要素、行列を展開するので、復号処理の演算コストを抑制することができる。

なお、以上においては、記録再生装置 300 は、リードソロモン符号を復号するように説明したが、これに限らず、例えば、BCH 符号を復号するようにしても

よい。

図 30 は、本発明を適用した、リードソロモン符号を用いて誤り訂正を行う誤り訂正システムを適用した記録再生装置の構成例を示すブロック図である。図 30 に示される記録再生装置 400 は、例えば、DVD レコードプレーヤ等のデジタル記録媒体記録再生装置である。なお、図 27 に示される場合と同様の部分については同一の符号を付しており、その説明を省略する。

図 30 の記録再生装置 400 は、外部より供給されたデジタル情報を、符号化処理部 260 において符号化し、記録再生処理部 270 において記録媒体 272 に記録する。また、記録再生装置 400 は、記録媒体 272 に記録されているデジタル情報を、記録再生処理部 270 において再生し、復号処理部 410 において復号処理を行って元のデジタル情報を取得し、その情報を外部に出力する。

復号処理部 410 は、符号化処理部 260 に対応する復号器であり、それぞれが、図 27 に示される復号処理部 280 と同様の構成であり、同様の復号処理を行う、直列に接続された  $m$  個の復号部である第 1 復号部 420-1 乃至第  $m$  復号部 420- $m$  からなる。

第 1 復号部 420-1 は、図 27 の復号処理部 280 と同様に、符号化処理部 260 の第 1 リードソロモン符号化部 261-1 乃至第  $n$  リードソロモン符号化部 261- $n$  に対応し、各次元に関するリードソロモン符号に対して、サンプロダクトアルゴリズムによる復号を行う、直列に接続された  $n$  個の復号部である第 1 リードソロモン SPA 復号部 421-1-1 乃至第  $n$  リードソロモン SPA 復号部 421-1- $n$  により構成される。この第 1 リードソロモン SPA 復号部 421-1-1 乃至第  $n$  リードソロモン SPA 復号部 421-1- $n$  は、それぞれ、図 20 に示される復号装置 150 と基本的に同様の構成であり、基本的に同様の動作を行う。従って、これらの、第 1 リードソロモン SPA 復号部 421-1-1 乃至第  $n$  リードソロモン SPA 復号部 421-1- $n$  は、それぞれ、復号装置 150 の場合と同様に、図 20 のブロック図、および図 21 に示されるフローチ



ャートを適用することができる。

第2復号部420-2乃至第m復号部420-mも、それぞれ、第1復号部420-1と同様の構成であり、第1復号部420-1と同様の動作を行う。例えば、第2復号部420-2は、直列に接続されたn個の復号部である第1リード  
5 ソロモン SPA 復号部421-2-1乃至第nリードソロモン SPA 復号部421-2-nにより構成され、第m復号部420-mも直列に接続されたn個の復号部である第1リードソロモン SPA 復号部421-m-1乃至第nリードソロモン SPA 復号部421-m-nにより構成される。なお、これらの第2復号部420-2乃至第m復号部420-mを構成する第1リードソロモン SPA 復号部  
10 乃至第nリードソロモン SPA 復号部は全て、それぞれ、図20に示される復号装置150と基本的に同様の構成であり、基本的に同様の動作を行うので、それぞれ、復号装置150の場合と同様に、図20のブロック図、および図21に示されるフローチャートを適用することができる。

復号処理部410は、まず、再生部273より供給されたデジタル情報に対して、第1復号部420-1の第1リードソロモン SPA 復号部421-1-1  
15 乃至第nリードソロモン SPA 復号部421-1-nの各部において、パリティ検査行列の各要素、行列を展開し、そのパリティ検査行列を低密度化して、各次元目に関するサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行う。

その際、第1復号部420-1は、符号化処理部260の場合と逆に、まず、  
20 第nリードソロモン SPA 復号部421-1-nにおいて第n次元目に関するサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理から行い、続いて、直列に接続される各リードソロモン SPA 復号部において、それぞれ、n-1次元目、n-2次元目と順に次元数を下げるようにサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行い、最後に第1リードソロモン SPA 復号部421-1-1において第1次元目  
25 に関するサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行う。

復号処理が終了すると、第1復号部420-1は、復号されたデジタル情報を第2復号部420-2に供給する。第2復号部420-2は、第1の復号部4

20-1の場合と同様に、第1リードソロモン SPA 復号部 421-2-1乃至第nリードソロモン SPA 復号部 421-2-nを用いて、次元数を1つずつ下げるような順番でサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行い、復号されたデジタル情報を次の復号部に供給する。このようにして、順に第m復号部 420-mまで復号処理が続けられる。第m復号部 420-mにおける復号処理が完了すると、復号処理部 410は、復号されたデジタル情報を記録再生装置 400の外部に出力する。

このようにすることにより、復号処理部 410は、容易に性能の良い復号処理を行うことができ、記録再生装置 400は、より正確にデジタル情報の記録および再生を行うことができる。また、復号処理部 410は、パリティ検査行列を低密度化させる前に、パリティ検査行列の各要素、行列を展開するので、復号処理の演算コストを低く抑えることができる。

なお、以上においては、記録再生装置 400は、リードソロモン符号を復号するように説明したが、これに限らず、例えば、BCH 符号を復号するようにしてもよい。

なお、以上においては、デジタル情報の記録および再生を行う記録再生装置の例について説明したが、この記録再生装置 400の、デジタル情報を記録媒体に記録する記録機能と、記録媒体に記録されているデジタル情報を再生する再生機能とが別体として構成されるようにしてもよい。その場合、図30の記録再生装置 400と同様の記録機能を有する記録装置は、図28に示される記録装置 300と同様の構成であり、同様の動作を行うので、図28のブロック図を適用することができ、その説明を省略する。

このような図30の記録再生装置 400と同様の記録機能を有する記録装置である記録装置 300に対応する再生装置を図31に示す。なお、図30に示される場合と同様の部分については同一の符号を付しており、その説明を省略する。

図31の再生装置 450は、図28に示される記録装置 300に対応する再生装置であり、第1復号部 420-1乃至第m復号部 420-mからなる復号処理

部 4 1 0、並びに、記録媒体 2 7 2 および再生部 2 7 3 からなる再生処理部 4 6 0 を有する。再生装置 4 5 0 の再生部 2 7 3 は、記録媒体 2 7 2 に記録されているデジタル情報（リードソロモン符号化されたデジタル情報）を再生し、そのデジタル情報に施された NRZI 変換を元に戻し（復号し）、そのデジタル  
5 情報を復号処理部 4 1 0 に供給する。

復号処理部 4 1 0 は、まず、再生部 2 7 3 より供給されたデジタル情報に対して、第 1 復号部 4 2 0 - 1 において、パリティ検査行列の各要素、行列を展開し、そのパリティ検査行列を低密度化して、サンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を各次元に対して行う。続いて、復号処理部 4 1 0 は、デジタル情報  
10 を、直列に接続される第 2 復号部 4 2 0 - 2 乃至 4 2 0 - m に、順に供給し、各部においてサンプロダクトアルゴリズムによる復号処理を行う。第 m 復号部 4 2 0 - m における復号処理が完了すると、復号処理部 4 1 0 は、復号されたデジタル情報を記録再生装置 4 0 0 の外部に出力する。

このようにすることにより、復号処理部 4 1 0 は、容易に性能の良い復号処理  
15 を行うことができ、再生装置 4 5 0 は、より正確にデジタル情報の再生を行うことができる。また、復号処理部 4 1 0 は、パリティ検査行列を低密度化させる前に、パリティ検査行列の各要素、行列を展開するので、復号処理の演算コストを抑制することができる。

なお、以上においては、BCH 符号またはリードソロモン符号に対する復号に本  
20 発明を適用する場合について説明したが、これに限らず、本発明は、一般の線形符号であればどのような符号に対応する復号に本発明を適用するようにしてもよい。

また、以上においては、再生装置 4 5 0 は、リードソロモン符号を復号するように説明したが、これに限らず、例えば、BCH 符号を復号するようにしてもよい。  
25 さらに、以上においては、例えば、図 1 2 に示される復号装置 1 0 0、図 2 0 に示される復号装置 1 5 0、図 2 5 に示されるリードソロモン SPA 復号部 2 3 4、図 2 6 に示されるリードソロモン SPA 復号部 2 4 4、図 2 7 に示される第

1 リードソロモン SPA 復号部 2 8 1-1 乃至第 n リードソロモン復号部 2 8 1-  
-n、並びに、図 3 0 に示される第 1 復号部 4 2 0-1 乃至第 m 復号部 4 2 0-  
m のような、本発明を適用した復号装置または復号部は、一般の線形符号に対す  
る復号方法として、検査行列を低密度化し、その低密度化した検査行列を用いて、  
5 線形符号を復号するように説明したが、これに限らず、例えば、他の装置または  
他の処理部において、検査行列を予め低密度化しておくようにしてもよい。その  
場合、復号装置（または復号部）は、その予め低密度化された検査行列を用いて、  
符号化装置等より供給される線形符号の復号を行う。すなわち、例えば、図 2 5  
に示される復号装置 2 3 0、図 2 6 に示される復号装置 2 4 0、図 2 7 に示され  
10 る記録再生装置 2 5 0、図 2 9 に示される再生装置 3 5 0、図 3 0 に示される記  
録再生装置 4 0 0、または、図 3 1 に示される再生装置 4 5 0 の外部において検  
査行列が予め低密度化されるようにし、各装置が、その予め低密度化された検査  
行列を用いて、供給される線形符号の復号を行うようにしてもよい。

上述した一連の処理は、ハードウェアにより実行させることもできるし、ソフ  
15 トウェアにより実行させることもできる。ソフトウェアにより実行される場合、  
上述した画像処理装置は、図 3 2 に示されるようなパーソナルコンピュータにより  
構成される。

図 3 2 において、パーソナルコンピュータ 5 0 0 の CPU (Central Processin  
g Unit) 5 0 1 は、ROM (Read Only Memory) 5 0 2 に記憶されているプログ  
20 ラム、または記憶部 5 1 3 から RAM (Random Access Memory) 5 0 3 にロード  
されたプログラムに従って各種の処理を実行する。RAM 5 0 3 にはまた、CPU 5  
0 1 が各種の処理を実行する上において必要なデータなども適宜記憶される。

CPU 5 0 1、ROM 5 0 2、および RAM 5 0 3 は、バス 5 0 4 を介して相互に接続  
されている。このバス 5 0 4 にはまた、入出力インタフェース 5 1 0 も接続され  
25 ている。

入出力インタフェース 5 1 0 には、キーボード、マウスなどよりなる入力部 5  
1 1、CRT (Cathode Ray Tube)、LCD (Liquid Crystal display) などよりなる

ディスプレイ、並びにスピーカなどよりなる出力部 5 1 2、ハードディスクなどより構成される記憶部 5 1 3、モデムなどより構成される通信部 5 1 4 が接続されている。通信部 5 1 4 は、インターネットを含むネットワークを介しての通信処理を行う。

- 5 入出力インタフェース 5 1 0 にはまた、必要に応じてドライブ 5 1 5 が接続され、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、或いは半導体メモリなどのリムーバブルメディア 9 2 1 が適宜装着され、それらから読み出されたコンピュータプログラムが、必要に応じて記憶部 5 1 3 にインストールされる。

- 一連の処理をソフトウェアにより実行させる場合には、そのソフトウェアを構成するプログラムが、ネットワークや記録媒体からインストールされる。
- 10

この記録媒体は、図 3・2 に示されるように、装置本体とは別に、ユーザにプログラムを提供するために配布される、プログラムが記録されている磁気ディスク（フロッピディスクを含む）、光ディスク（CD-ROM (Compact Disk-Read Only Memory), DVD (Digital Versatile Disk) を含む）、光磁気ディスク（MD (Mini-Disk) を含む）、もしくは半導体メモリなどよりなるリムーバブルメディア 5 2 1 により構成されるだけでなく、装置本体に予め組み込まれた状態でユーザに提供される、プログラムが記録されている ROM 5 0 2 や、記憶部 5 1 3 に含まれるハードディスクなどで構成される。

- なお、本明細書において、記録媒体に記録されるプログラムを記述するステップは、記載された順序に沿って時系列的に行われる処理はもちろん、必ずしも時系列的に処理されなくとも、並列的あるいは個別に実行される処理をも含むものである。
- 20

また、本明細書において、システムとは、複数の装置により構成される装置全体を表すものである。

25

#### 産業上の利用可能性

以上のごとく本発明によれば、一般の線形符号の復号処理を行うことができる。

特に、一般の線形符号に対する復号方法としてサムプロダクトアルゴリズムを適用した場合に、容易に、性能の良い復号処理を行うことができる。

## 請求の範囲

1. 環  $R$  上の線形符号の復号方法であって、  
前記線形符号の検査行列に対して、値が 1 である要素の密度を低密度化させる低密度化処理ステップと、
- 5 前記低密度化処理ステップの処理により低密度化された前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップとを含むことを特徴とする復号方法。
2. 前記環は、素数のべき乗を元とする有限体である  
ことを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の復号方法。
- 10 3. 前記線形符号は、前記有限体上の BCH 符号またはリードソロモン符号を含む  
ことを特徴とする請求の範囲第 2 項に記載の復号方法。
4. 前記低密度化処理ステップは、  
前記検査行列の各行の線形結合を計算する線形結合計算ステップと、
- 15 前記線形結合計算ステップの処理により計算された前記線形結合によって得られるベクトルの集合の中から、符号補空間を張る、より重みの低いベクトル部分集合を抽出し、前記ベクトル部分集合の全ベクトルを行成分とする新たな検査行列を作成する検査行列作成ステップと  
を含むことを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の復号方法。
- 20 5. 前記低密度化処理ステップは、前記有限体上の前記検査行列を、前記有限体の部分体上に所定の次元で展開する展開ステップをさらに含み、  
前記線形結合計算ステップは、前記展開ステップの処理により展開された前記検査行列の各行の線形結合を計算する  
ことを特徴とする請求の範囲第 4 項に記載の復号方法。
- 25 6. 環  $R$  上の線形符号の復号装置であって、  
前記線形符号の検査行列に対して、値が 1 である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理手段と、

前記低密度化処理手段により低密度化された前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段と  
を備えることを特徴とする復号装置。

7. 前記環は、素数のべき乗を元とする有限体である

5 ことを特徴とする請求の範囲第6項に記載の復号装置。

8. 前記線形符号は、前記有限体上の BCH 符号またはリードソロモン符号を含む

ことを特徴とする請求の範囲第7項に記載の復号装置。

9. 前記低密度化処理手段は、

10 前記検査行列の各行の線形結合を計算する線形結合計算手段と、

前記線形結合計算手段により計算された前記線形結合によって得られるベクトルの集合の中から、符号補空間を張る、より重みの低いベクトル部分集合を抽出し、前記ベクトル部分集合の全ベクトルを行成分とする新たな検査行列を作成する検査行列作成手段と

15 を備えることを特徴とする請求の範囲第6項に記載の復号装置。

10. 前記低密度化処理手段は、前記有限体上の前記検査行列を、前記有限体の部分体上に所定の次元で展開する展開手段をさらに備え、

前記線形結合計算手段は、前記展開手段により展開された前記検査行列の各行の線形結合を計算する

20 ことを特徴とする請求の範囲第9項に記載の復号装置。

11. 畳み込み符号化された線形符号を軟判定復号する軟判定復号手段をさらに備え、

前記低密度化処理手段は、前記軟判定復号手段により軟判定復号された前記線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる

25 ことを特徴とする請求の範囲第6項に記載の復号装置。

12. 前記軟判定復号手段による前記軟判定復号、前記低密度化処理手段による前記低密度化処理、および前記復号手段による前記復号を繰り返し実行する



ことを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の復号装置。

1 3. 環 R 上の線形符号の復号をコンピュータに行わせるプログラムにおいて、  
前記線形符号の検査行列に対して、値が 1 である要素の密度を低密度化させる  
低密度化処理ステップと、

5 前記低密度化処理ステップの処理により低密度化された前記検査行列を用いて、  
前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップと  
を含む処理をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

1 4. 環 R 上の線形符号の復号方法であって、  
受信値を入力する入力ステップと、

10 前記線形符号の検査行列に対し、値が 1 である要素の密度を低密度化させた前  
記検査行列と、前記入力ステップの処理により入力された受信値とを用いて、前  
記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップと  
を含むことを特徴とする復号方法。

1 5. 環 R 上の線形符号の復号装置であって、

15 受信値を入力する入力手段と、

前記線形符号の検査行列に対し、値が 1 である要素の密度を低密度化させた前  
記検査行列と、前記入力手段により入力された受信値とを用いて、前記線形符号  
をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段と  
を備えることを特徴とする復号装置。

20 1 6. 環 R 上の線形符号の復号をコンピュータに行わせるプログラムにおいて、  
受信値を入力する入力ステップと、

前記線形符号の検査行列に対し、値が 1 である要素の密度を低密度化させた前  
記検査行列と、前記入力ステップの処理により入力された受信値とを用いて、前  
記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップと

25 を含む処理をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

1 7. 記録媒体に情報を記録し、前記記録媒体に記録された前記情報を再生す  
る記録再生装置であって、

環R上の線形符号を前記記録媒体に記録する記録手段と、  
前記記録手段により記録された前記線形符号を再生する再生手段と、  
前記再生手段により再生された前記線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理手段と、

- 5 前記低密度化処理手段により低密度化された前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段と  
を備えることを特徴とする記録再生装置。

18. 前記線形符号は、所定の次元で積符号化された線形符号であり、

- 前記低密度化処理手段は、前記検査行列に対して、各次元に対して、前記低密度化処理を行い、

前記復号手段は、前記低密度化された前記検査行列の各次元に対して、サンプロダクトアルゴリズムによる復号を行う

ことを特徴とする請求の範囲第17項に記載の記録再生装置。

19. 前記低密度化処理手段による前記低密度化処理、および前記復号手段による前記復号を繰り返し実行する

ことを特徴とする請求の範囲第17項に記載の記録再生装置。

20. 記録媒体に情報を記録し、前記記録媒体に記録された前記情報を再生する記録再生装置の記録再生方法であって、

- 環R上の線形符号の、前記記録媒体への記録を制御する記録制御ステップと、  
20 前記記録制御ステップの処理により記録が制御された前記線形符号の、再生を制御する再生制御ステップと、

前記再生制御ステップの処理により再生が制御された前記線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理ステップと、

- 25 前記低密度化処理ステップの処理により低密度化された前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップと  
を含むことを特徴とする記録再生方法。

2 1. 記録媒体に情報を記録し、前記記録媒体に記録された前記情報を再生する処理をコンピュータに行わせるプログラムにおいて、

環R上の線形符号の、前記記録媒体への記録を制御する記録制御ステップと、  
前記記録制御ステップの処理により記録が制御された前記線形符号の、再生を

5 制御する再生制御ステップと、

前記再生制御ステップの処理により再生が制御された前記線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理ステップと、

前記低密度化処理ステップの処理により低密度化された前記検査行列を用いて、  
10 前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップと

を含む処理をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

2 2. 記録媒体に情報を記録し、前記記録媒体に記録された前記情報を再生する記録再生装置であって、

環R上の線形符号を前記記録媒体に記録する記録手段と、

15 前記記録手段により記録された前記線形符号を再生する再生手段と、

前記線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段と

を備えることを特徴とする記録再生装置。

20 2 3. 記録媒体に情報を記録し、前記記録媒体に記録された前記情報を再生する記録再生装置の記録再生方法であって、

環R上の線形符号の、前記記録媒体への記録を制御する記録制御ステップと、  
前記記録制御ステップの処理により記録が制御された前記線形符号の再生を制御する再生制御ステップと、

25 前記線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップと

を含むことを特徴とする記録再生方法。

24. 記録媒体に情報を記録し、前記記録媒体に記録された前記情報を再生する処理をコンピュータに行わせるプログラムにおいて、

環R上の線形符号の、前記記録媒体への記録を制御する記録制御ステップと、

5 前記記録制御ステップの処理により記録が制御された前記線形符号の再生を制御する再生制御ステップと、

前記線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップと

10 を含む処理をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

25. 記録媒体に記録された情報を再生する再生装置であって、

前記記録媒体に記録された、環R上の線形符号を再生する再生手段と、

前記再生手段により再生された前記線形符号の検査行列に対して、値が1である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度化処理手段と、

15 前記低密度化処理手段により低密度化された前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段と

を備えることを特徴とする再生装置。

26. 前記線形符号は、所定の次元で積符号化された線形符号であり、

前記低密度化処理手段は、前記検査行列に対して、各次元に対して、前記低密

20 度化処理を行い、

前記復号手段は、前記低密度化された前記検査行列の各次元に対して、サンプロダクトアルゴリズムによる復号を行う

ことを特徴とする請求の範囲第25項に記載の再生装置。

27. 前記低密度化処理手段による前記低密度化処理、および前記復号手段に

25 よる前記復号を繰り返し実行する

ことを特徴とする請求の範囲第25項に記載の再生装置。

28. 記録媒体に記録された情報を再生する再生装置の再生方法であって、

前記記録媒体記録された、環 R 上の線形符号の再生を制御する再生制御ステップと、

前記再生制御ステップの処理により再生が制御された前記線形符号の検査行列に対して、値が 1 である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度

5 化処理ステップと、

前記低密度化処理ステップの処理により低密度化された前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップと

を含むことを特徴とする再生方法。

29. 記録媒体に記録された情報を再生する処理をコンピュータに行わせるプ

10 ログラムにおいて、

前記記録媒体記録された、環 R 上の線形符号の再生を制御する再生制御ステップと、

前記再生制御ステップの処理により再生が制御された前記線形符号の検査行列に対して、値が 1 である要素の密度を低密度化させる低密度化処理を行う低密度

15 化処理ステップと、

前記低密度化処理ステップの処理により低密度化された前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップと

を含む処理をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

30. 記録媒体に記録された情報を再生する再生装置であって、

20 前記記録媒体に記録された、環 R 上の線形符号を再生する再生手段と、

前記線形符号の検査行列に対し、値が 1 である要素の密度を低密度化させた前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号手段と

を備えることを特徴とする再生装置。

25 31. 記録媒体に記録された情報を再生する再生装置の再生方法であって、

前記記録媒体に記録された、環 R 上の線形符号の再生を制御する再生制御ステップと、

前記線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップと

を含むことを特徴とする再生方法。

- 5 32. 記録媒体に記録された情報を再生する処理をコンピュータに行わせるプログラムにおいて、

前記記録媒体に記録された、環R上の線形符号の再生を制御する再生制御ステップと、

- 10 前記線形符号の検査行列に対し、値が1である要素の密度を低密度化させた前記検査行列を用いて、前記線形符号をサンプロダクトアルゴリズムにより復号する復号ステップと

を含む処理をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

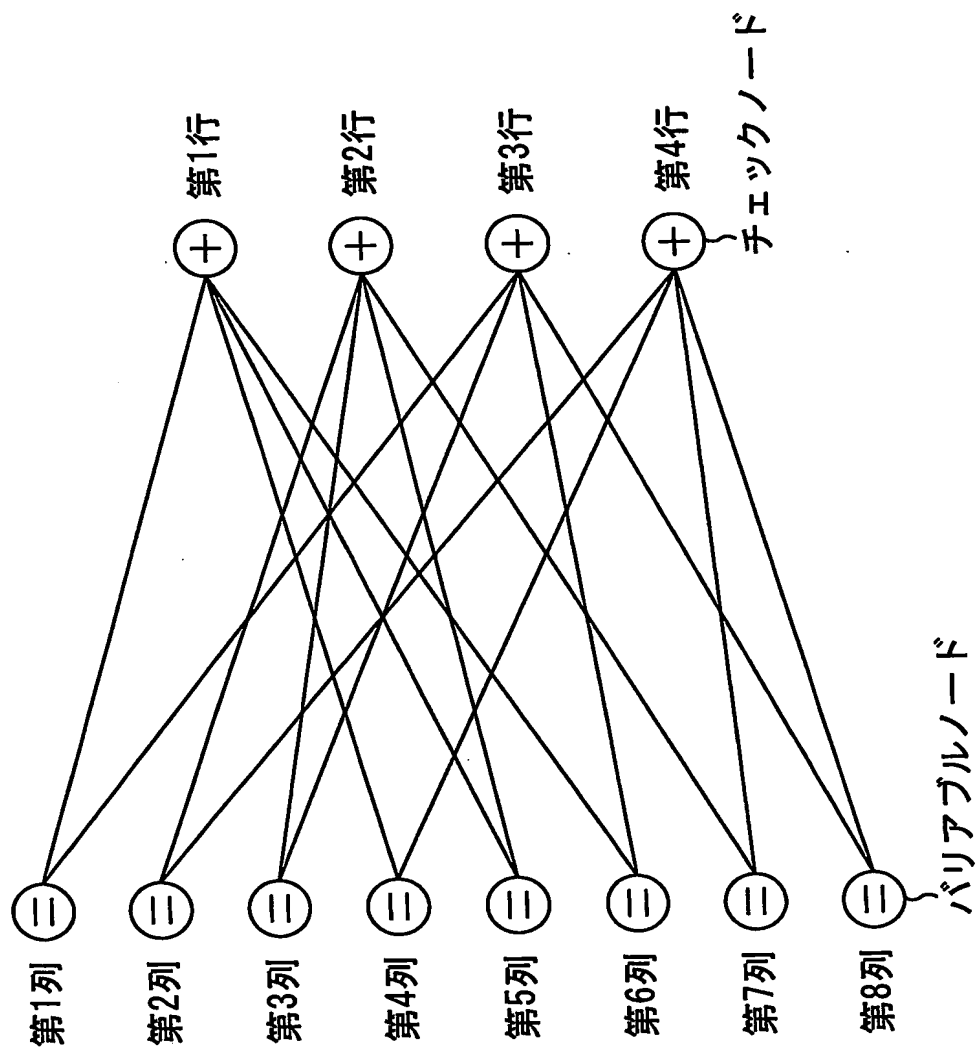
1/31

図 1

$$H_{LDPC} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

2/31

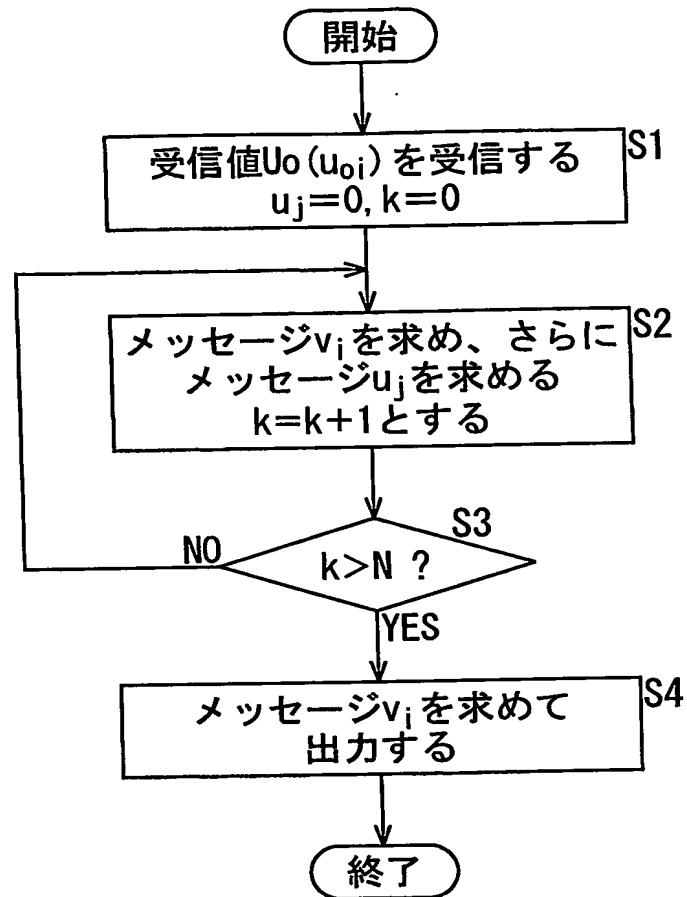
図2





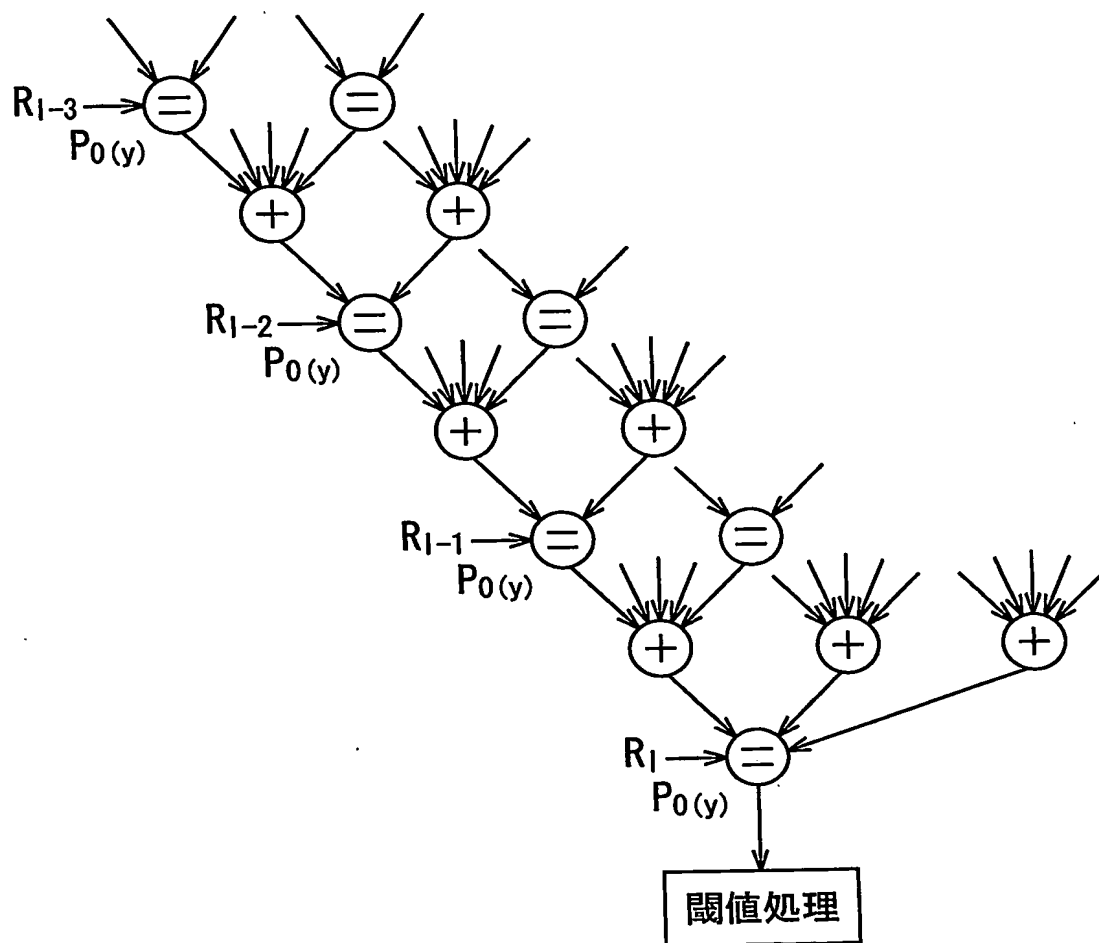
3/31

図 3



4/31

図 4



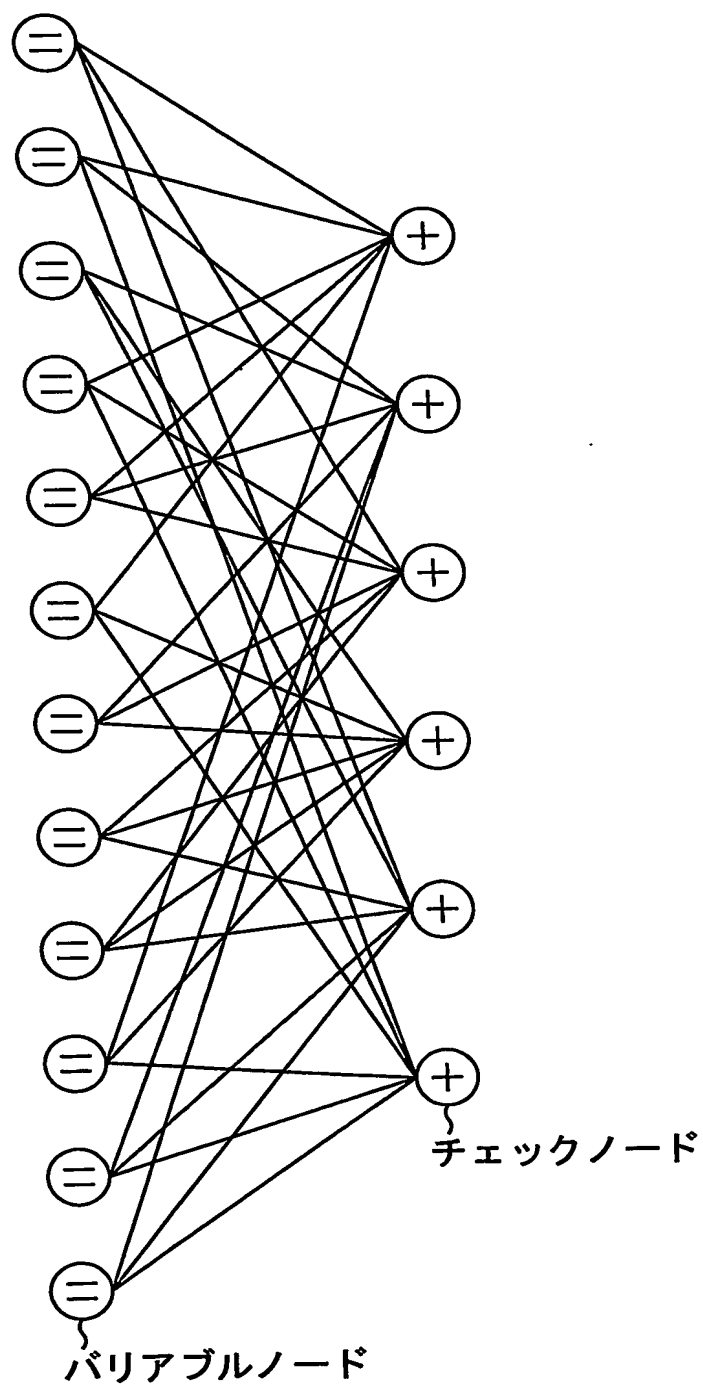
5/31

図 5

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

6/31

図 6



7/31

図 7

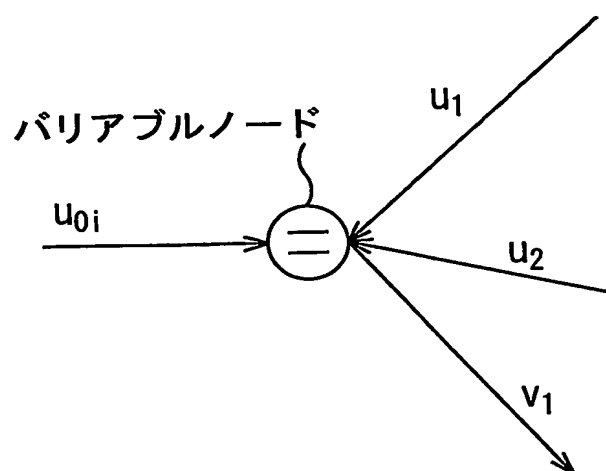
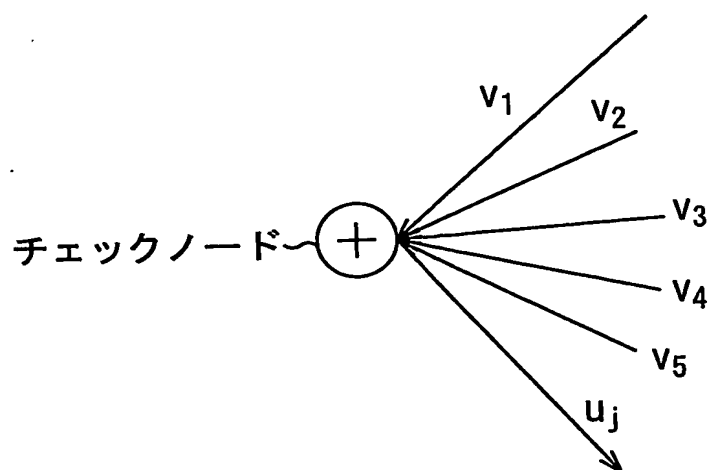


図 8



8/31

図 9

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 & \dots & \alpha^{n-1} \\ 1 & \alpha^2 & \alpha^4 & \dots & \alpha^{2(n-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & \alpha^{2t-1} & \alpha^{2(2t-1)} & \dots & \alpha^{(2t-1)(n-1)} \end{pmatrix}$$

9/31

図10

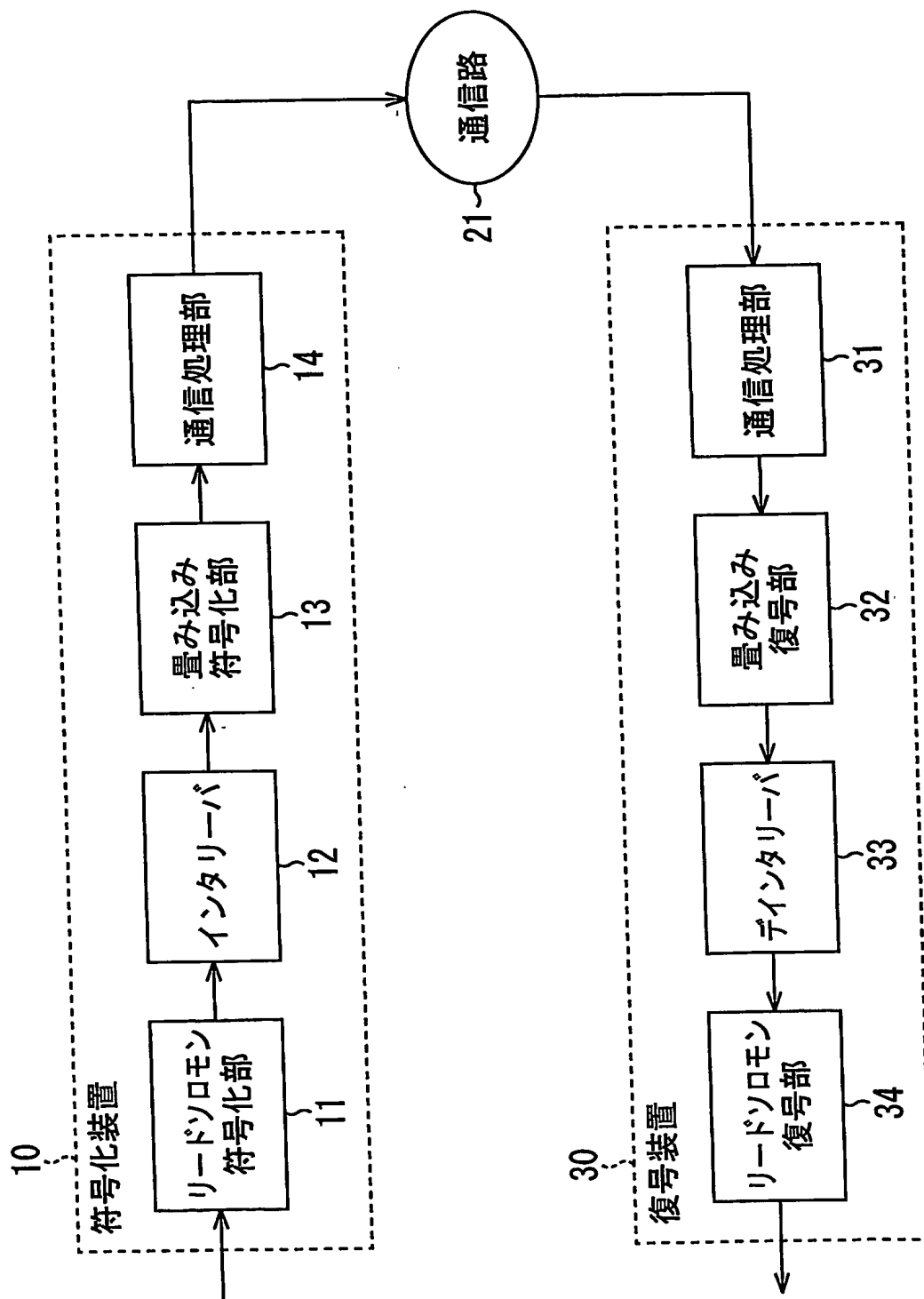
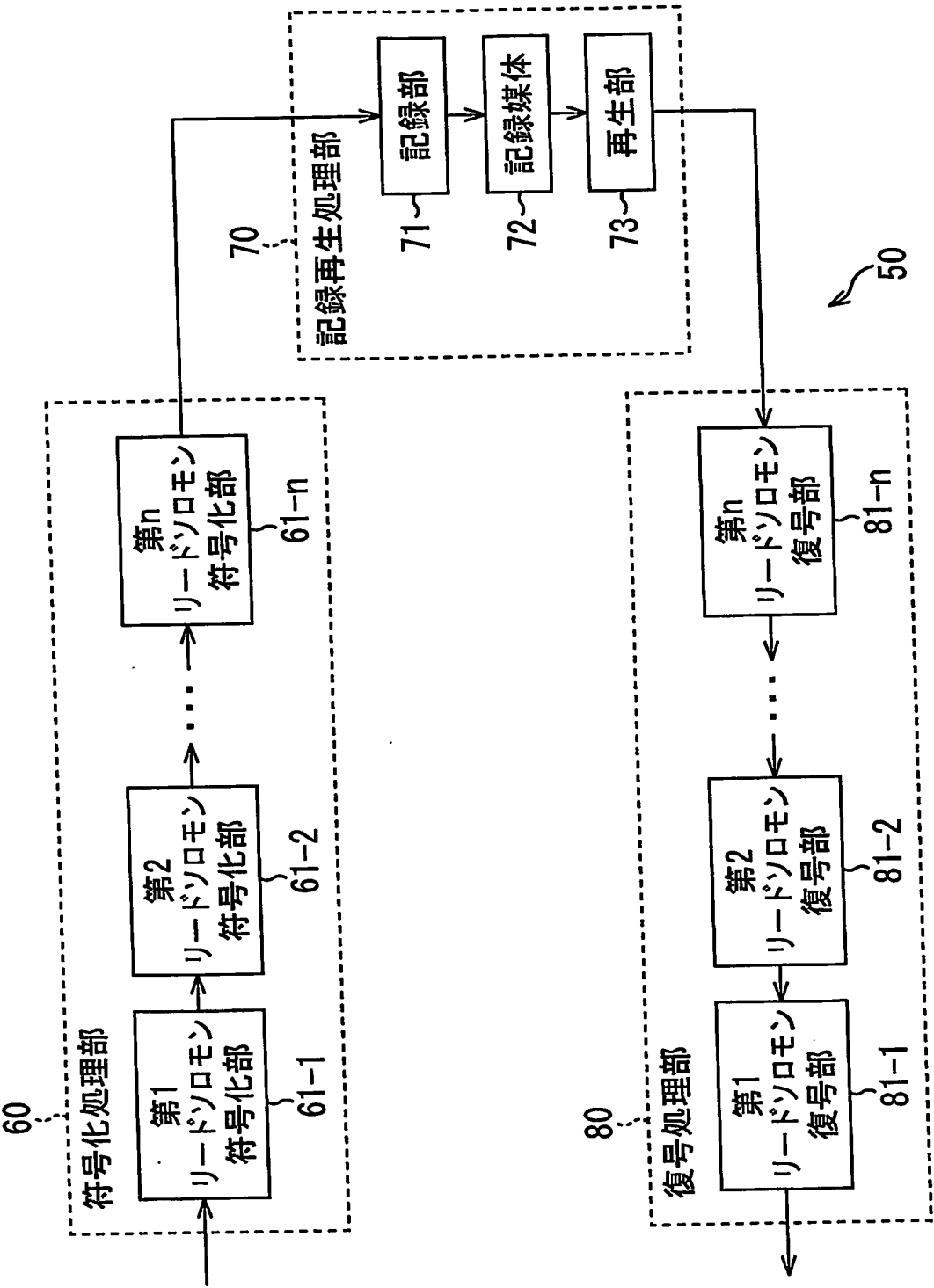


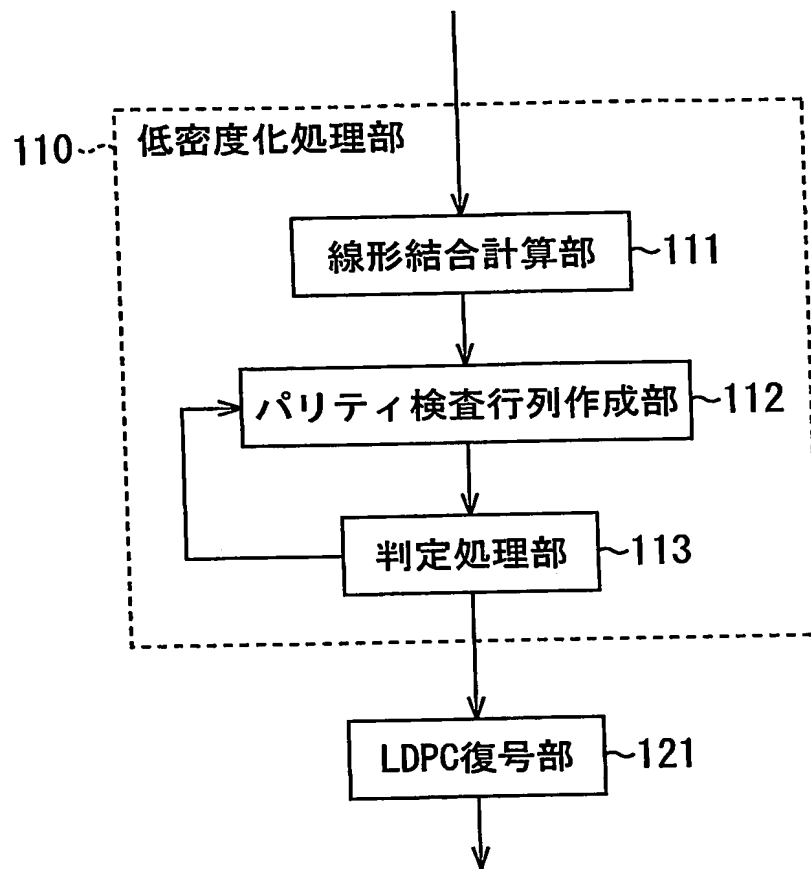
図11





11/31

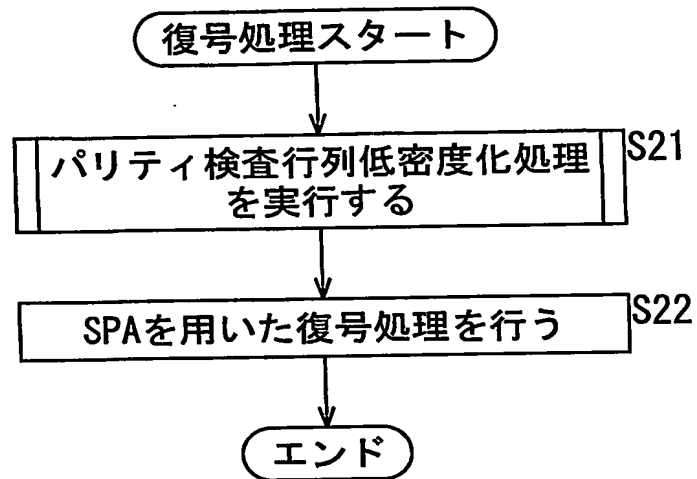
図12



100

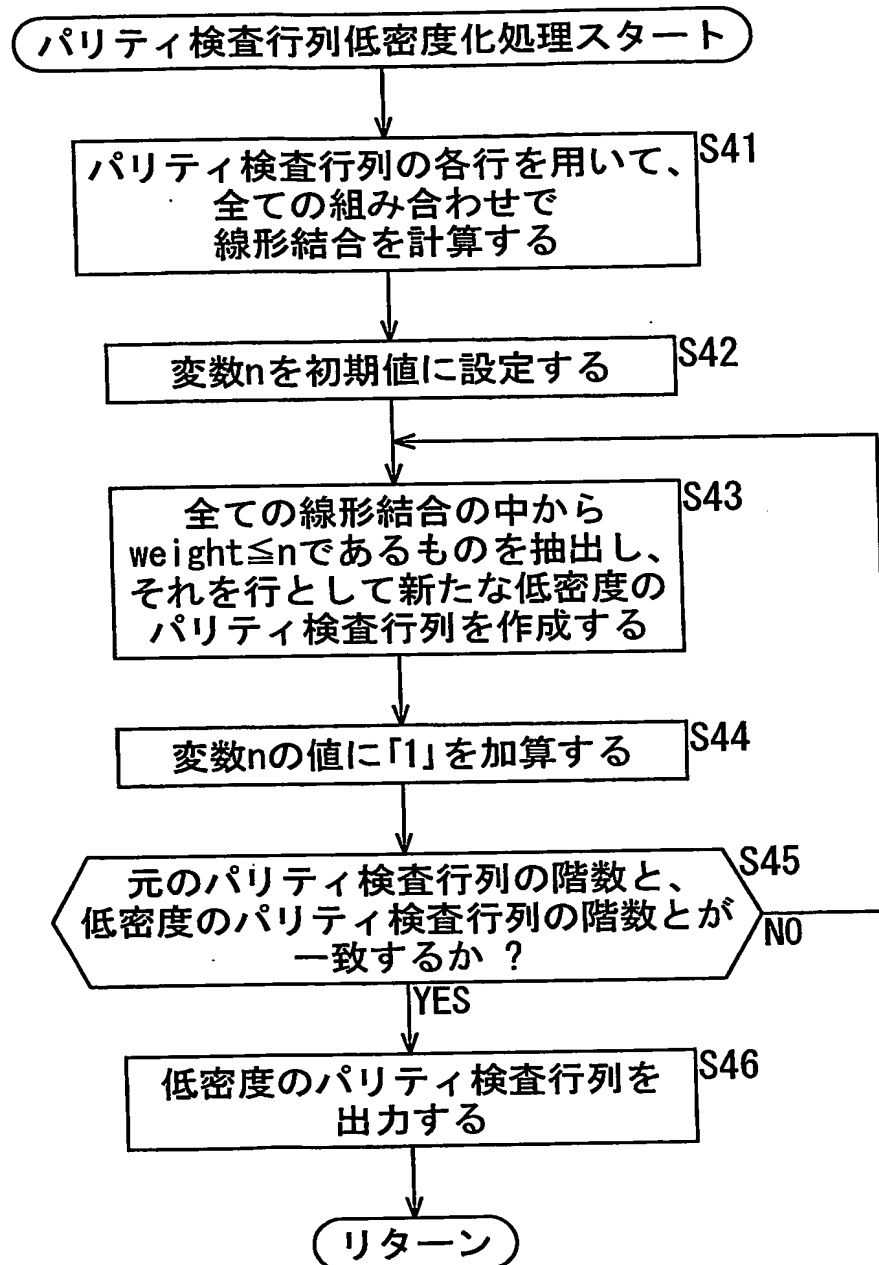
12/31

図13



13/31

図14



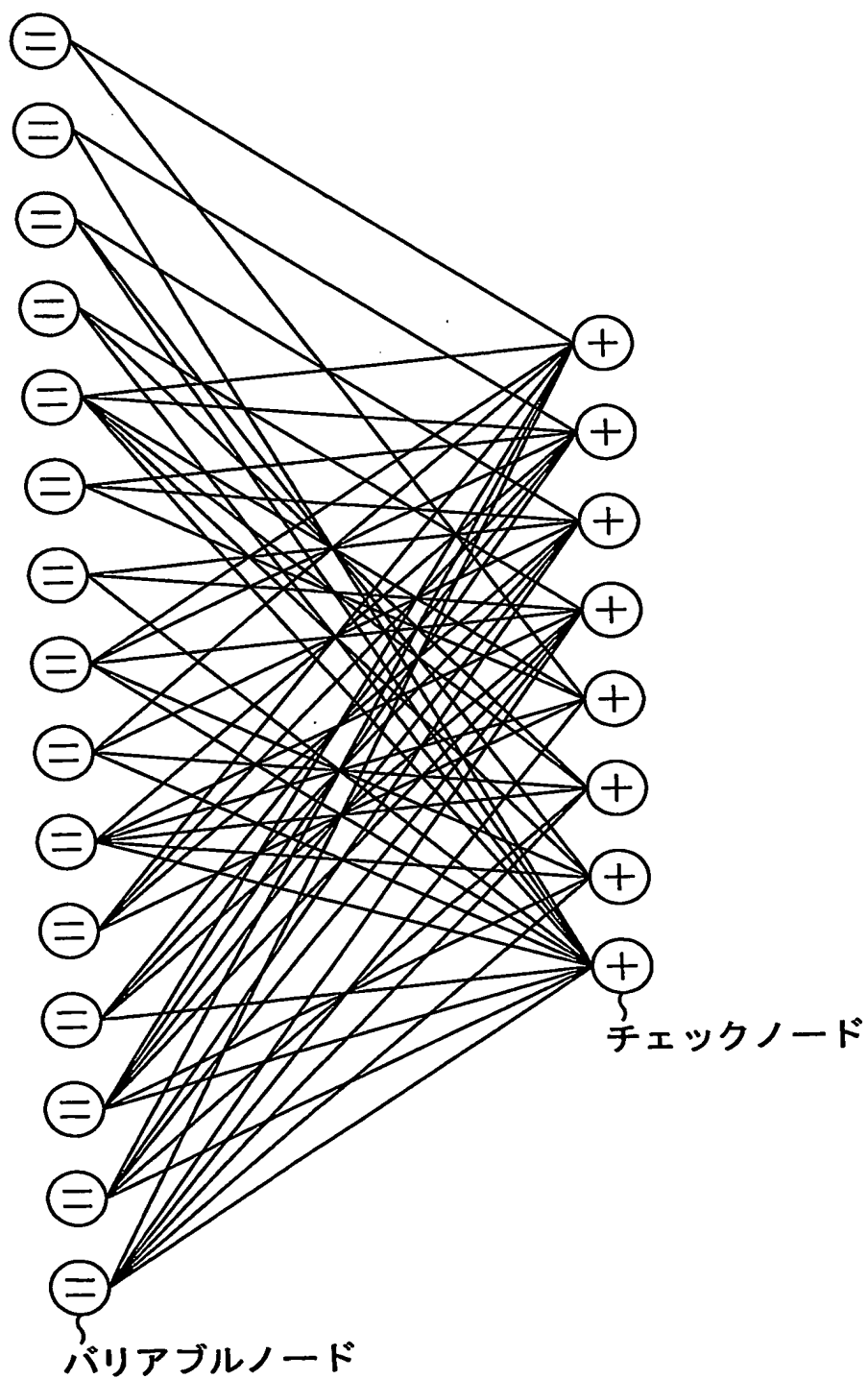
14/31

図15

$$H = \begin{pmatrix} 100010011010111 \\ 010011010111100 \\ 001001101011110 \\ 000100110101111 \\ 100011000110001 \\ 000110001100011 \\ 001010010100101 \\ 011110111101111 \end{pmatrix}$$

15/31

図16



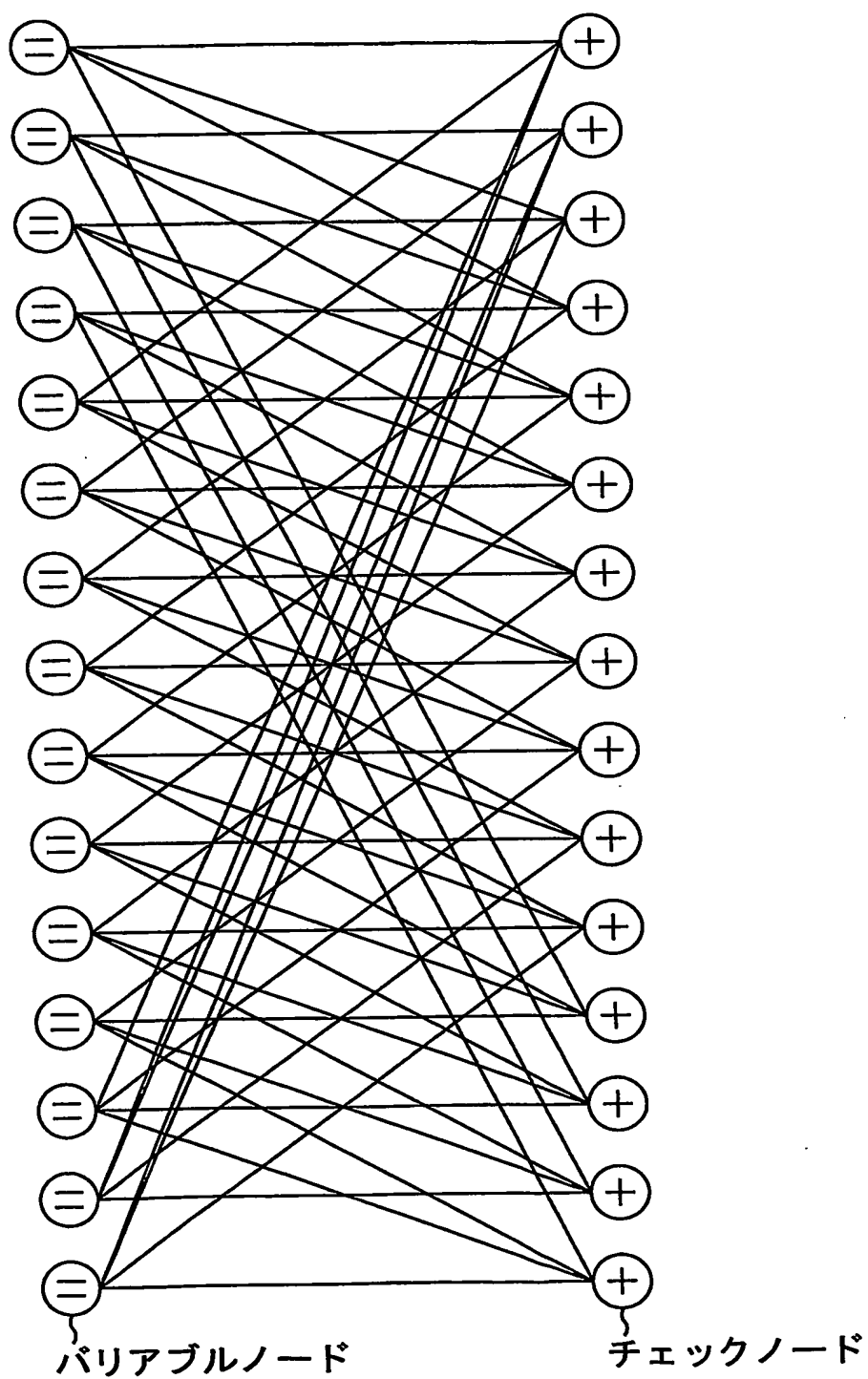
16/31

図17

$H_{sp4} =$	(	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	)
	(	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	)
	(	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	)
	(	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	)
	(	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	)
	(	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	)
	(	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	)
	(	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	)
	(	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	)
	(	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	)
	(	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	)
	(	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	)
	(	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	)
	(	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	)
	(	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	)

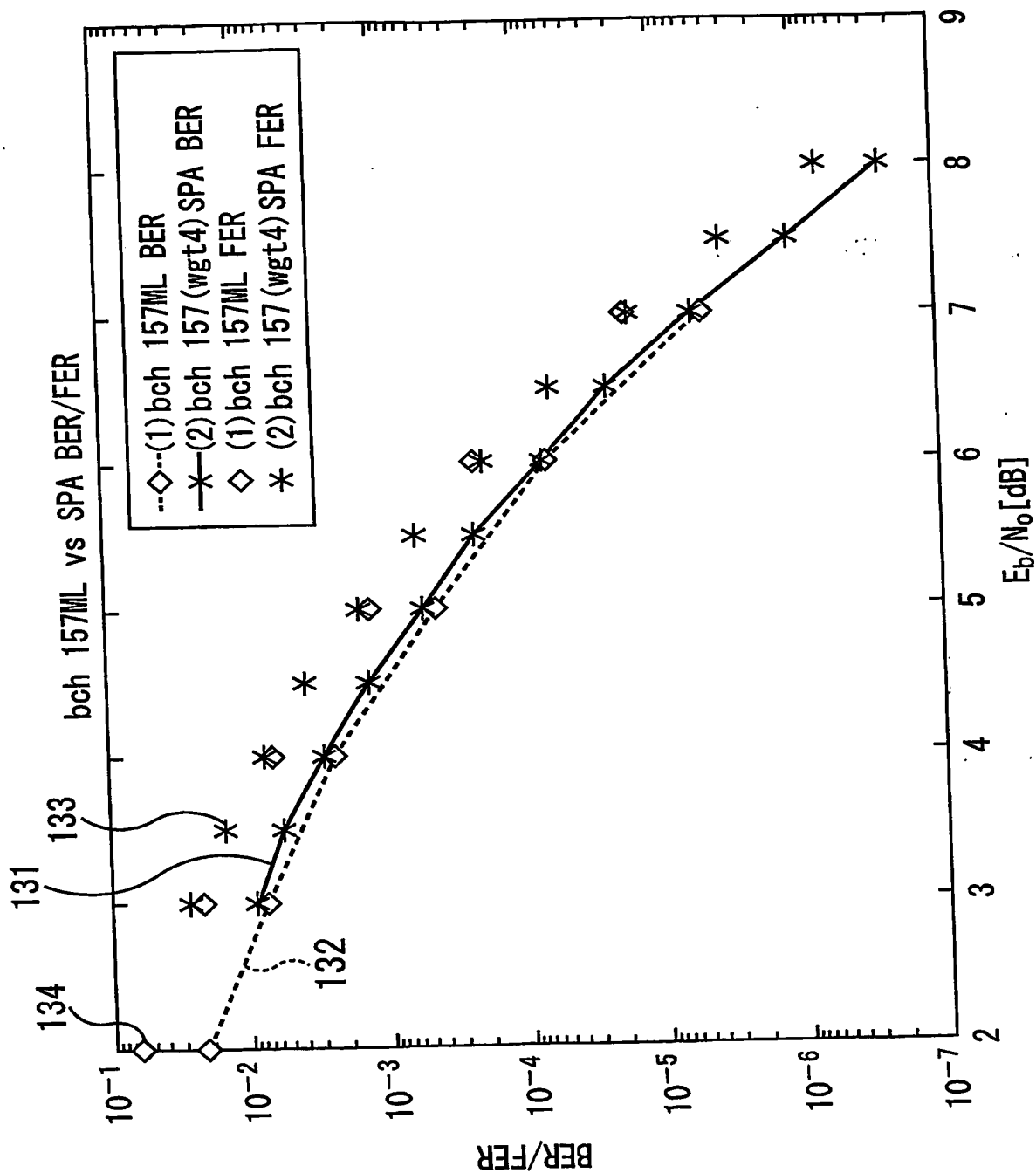
17/31

図18



18/31

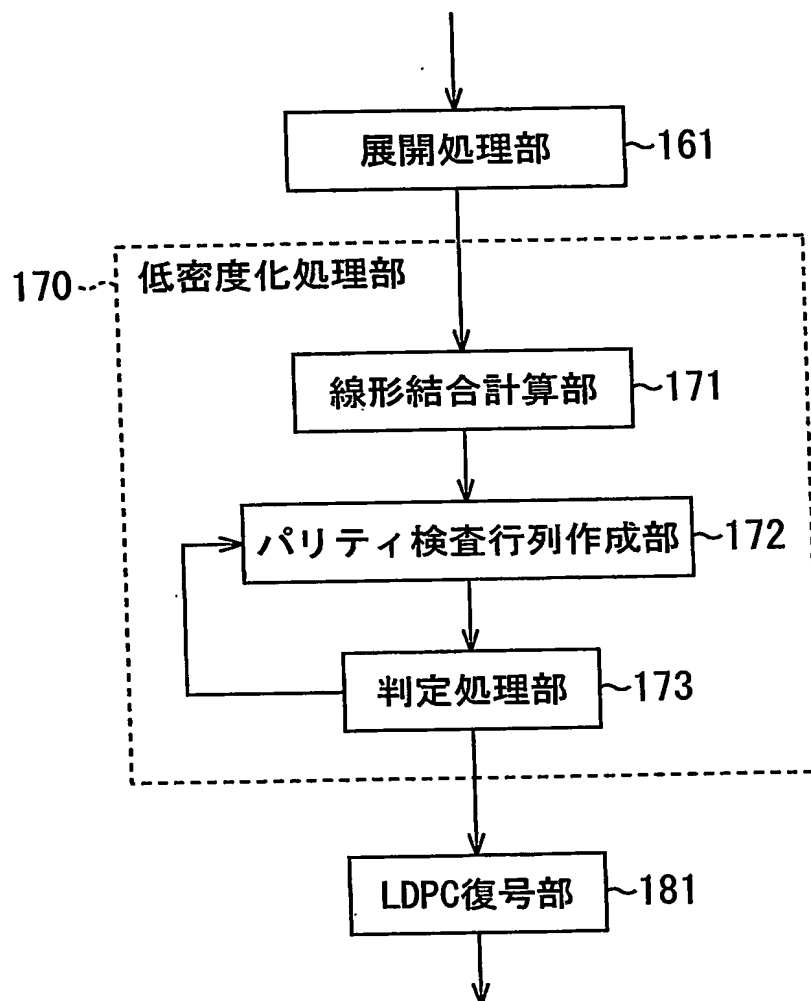
図19





19/31

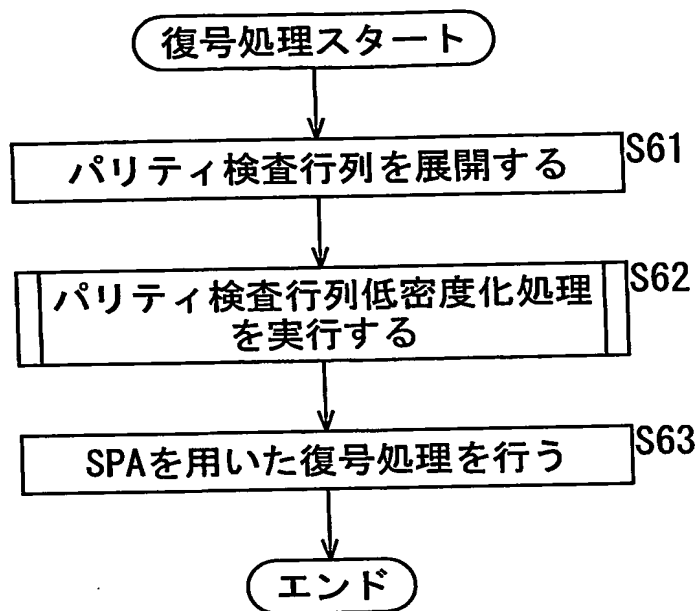
図20



150

20/31

図21



21/31

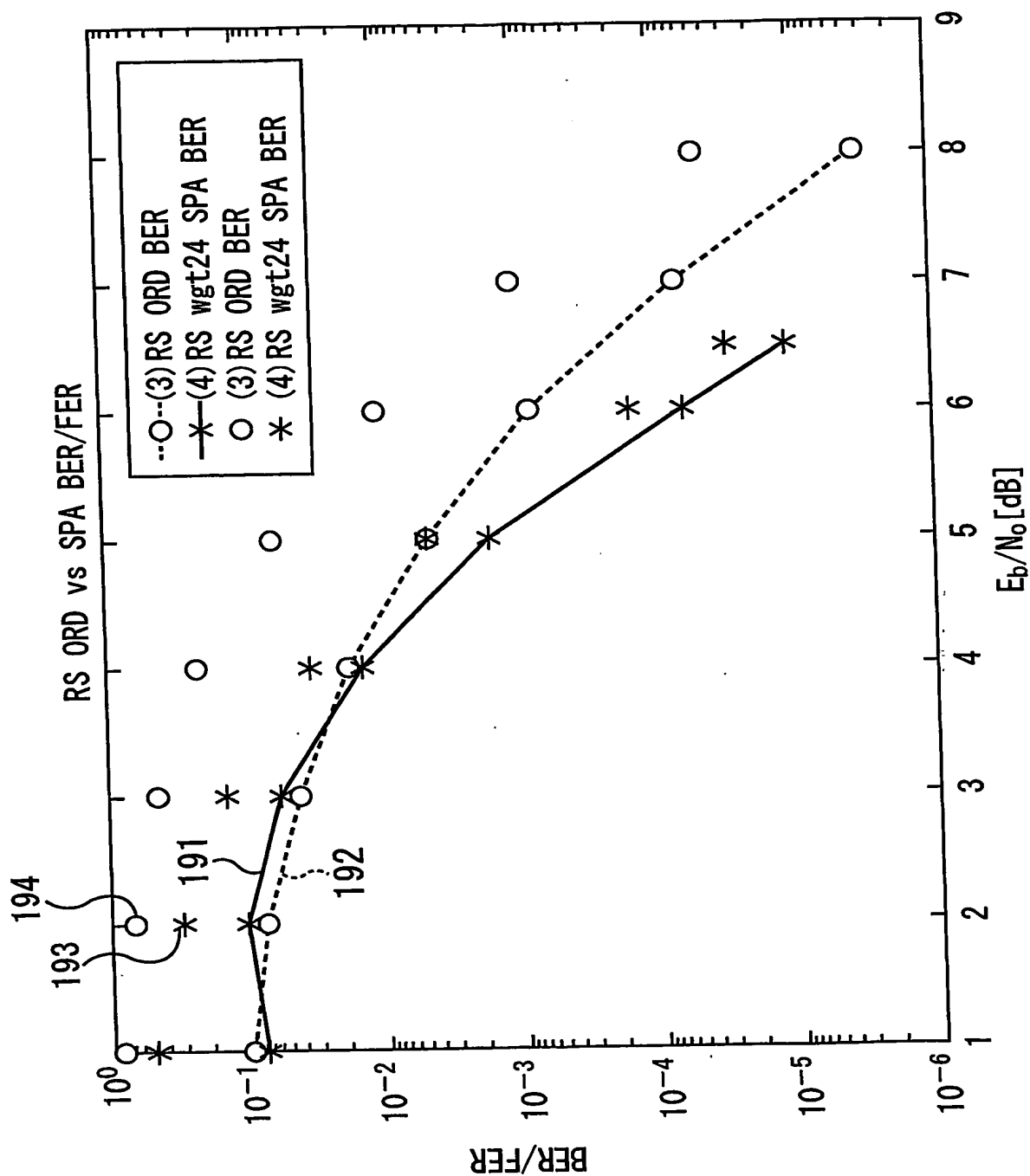
図22

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 & \alpha^3 & \alpha^4 & \alpha^5 & \alpha^6 & \alpha^7 & \alpha^8 & \alpha^9 & \alpha^{10} & \alpha^{11} & \alpha^{12} & \alpha^{13} & \alpha^{14} & & & \\ 1 & \alpha^2 & \alpha^4 & \alpha^6 & \alpha^8 & \alpha^{10} & \alpha^{12} & \alpha^{14} & \alpha^{16} & \alpha^{18} & \alpha^{20} & \alpha^{22} & \alpha^{24} & \alpha^{26} & \alpha^{28} & & & \\ 1 & \alpha^3 & \alpha^6 & \alpha^9 & \alpha^{12} & \alpha^{15} & \alpha^{18} & \alpha^{21} & \alpha^{24} & \alpha^{27} & \alpha^{30} & \alpha^{33} & \alpha^{36} & \alpha^{39} & \alpha^{42} & & & \end{pmatrix}$$



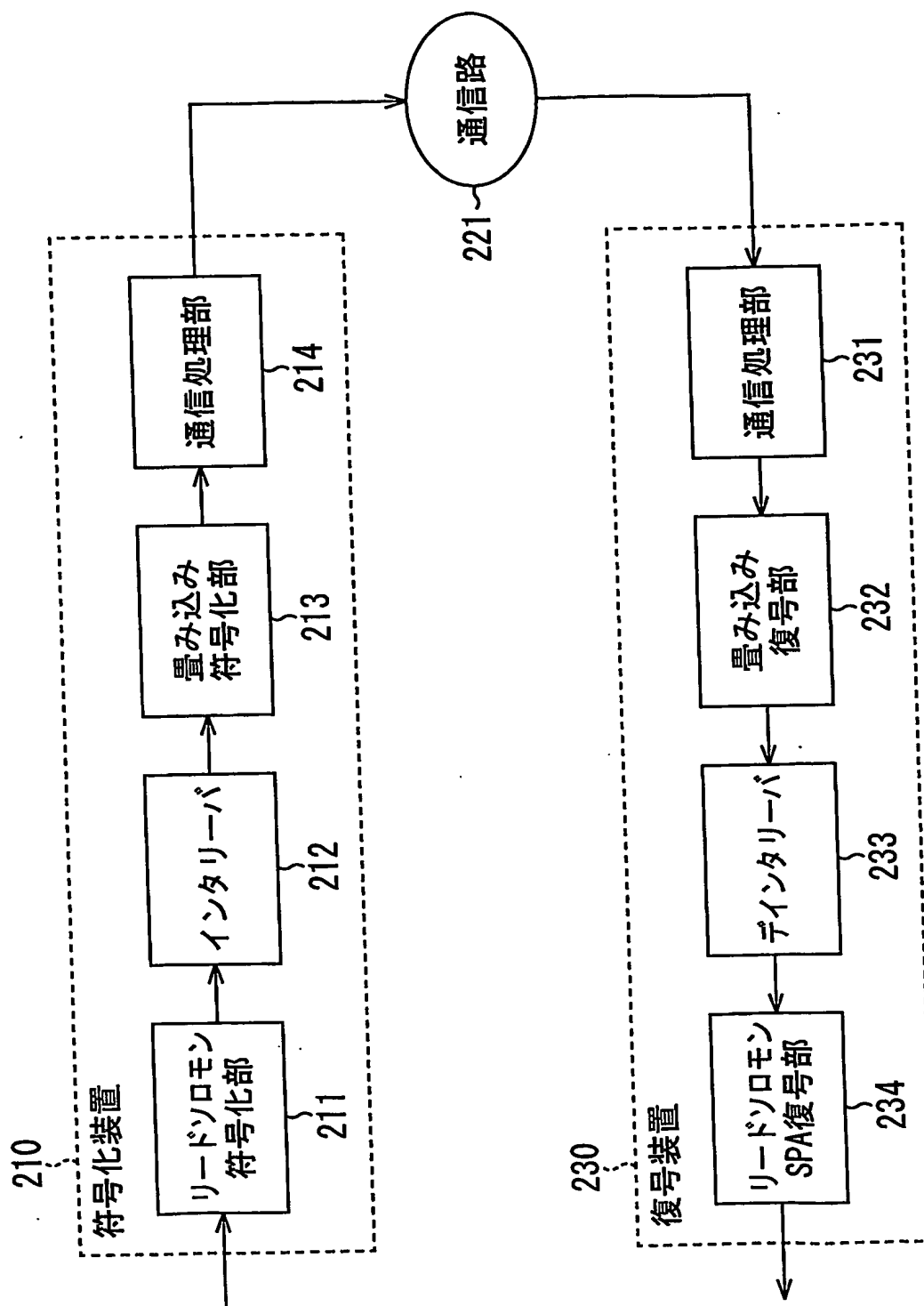
23/31

図24



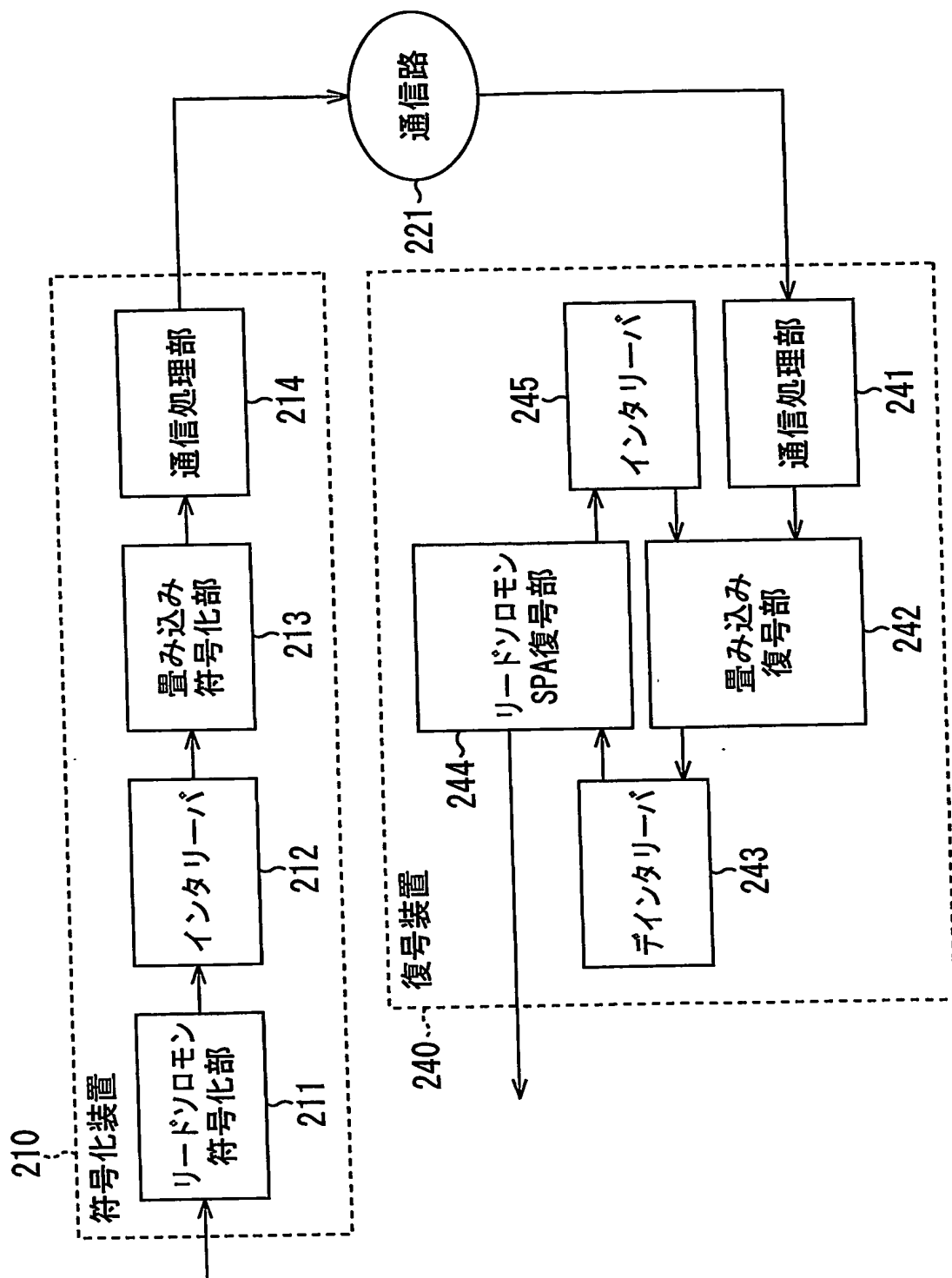
24/31

図25



25/31

図26



26/31

図27

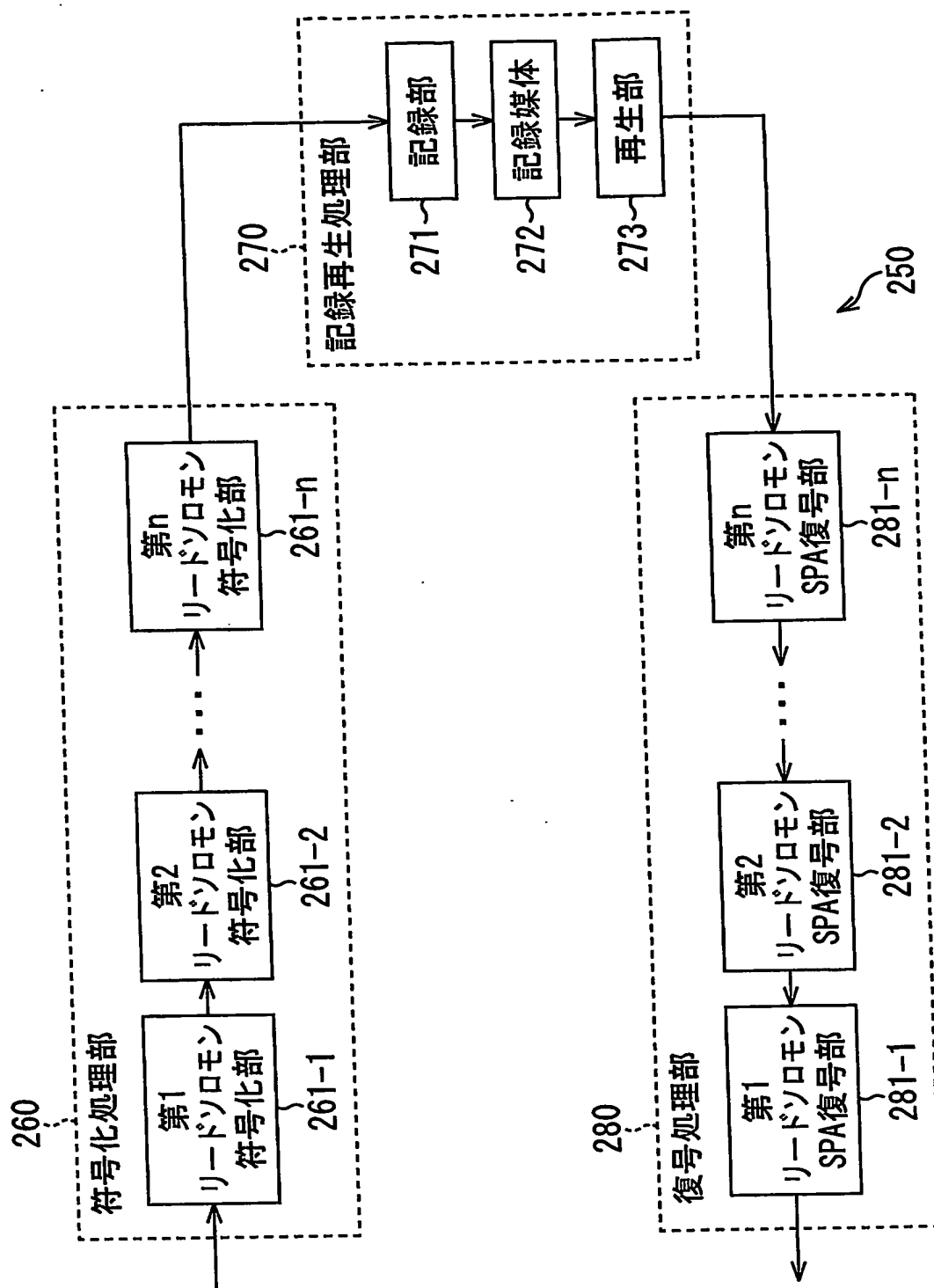
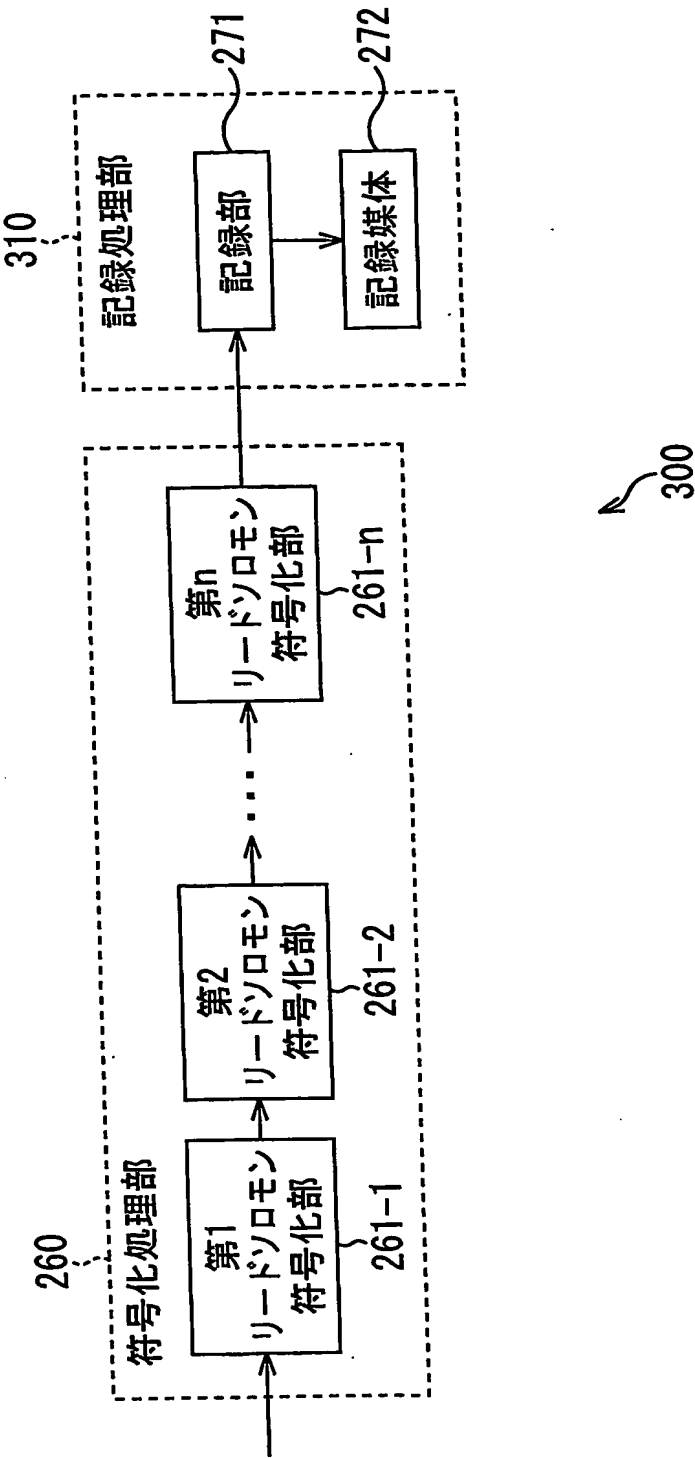




図28



28/31

図29

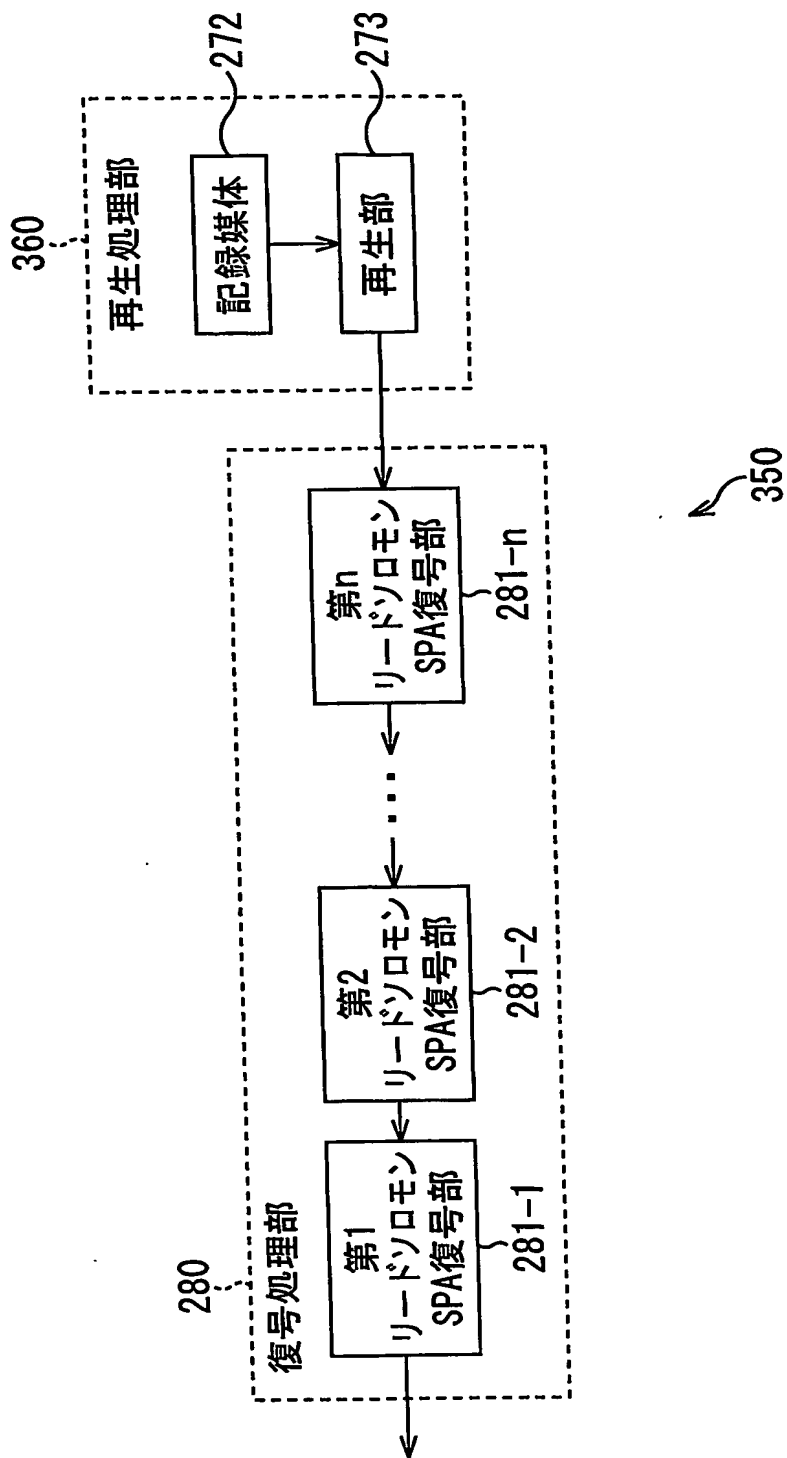


図30

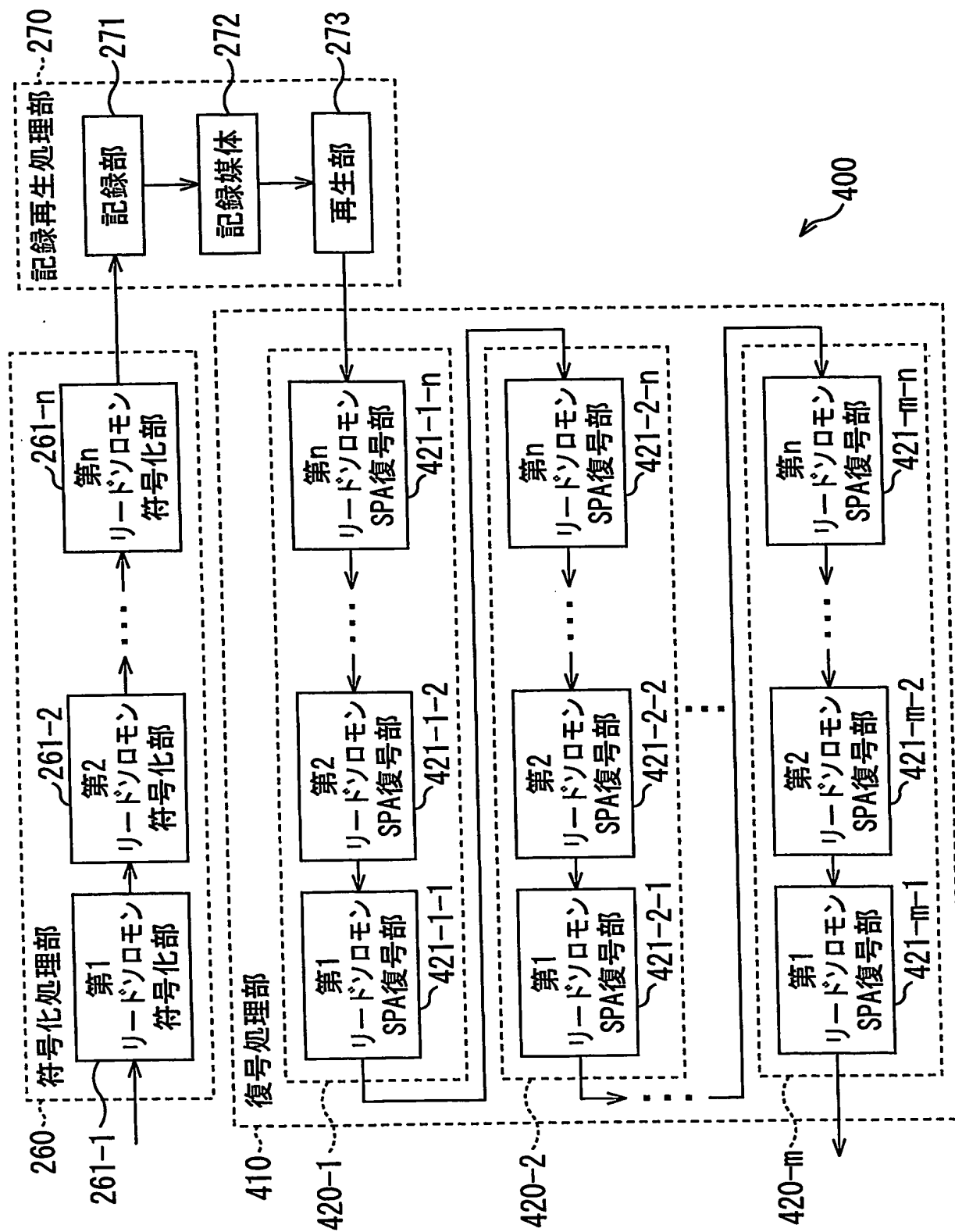
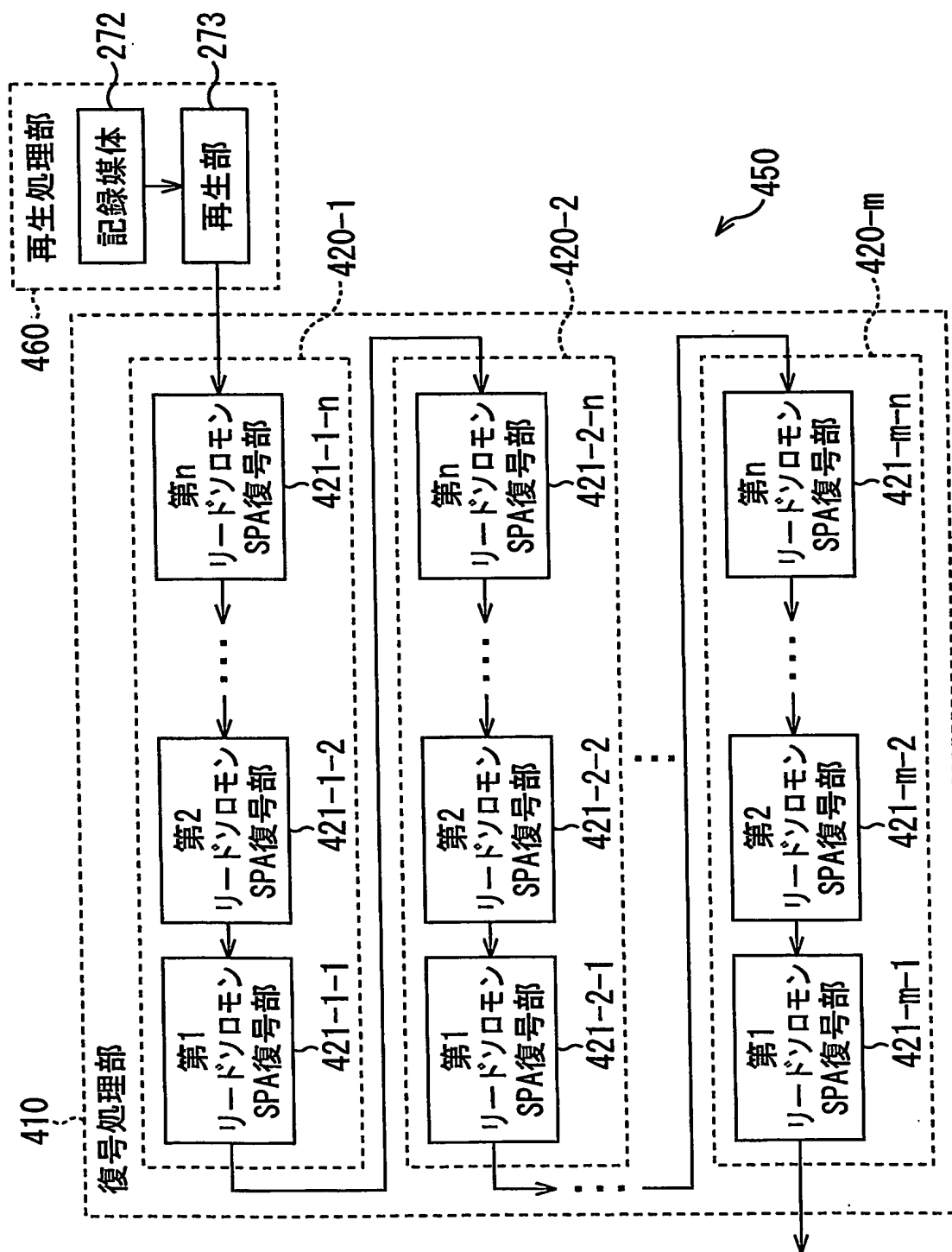
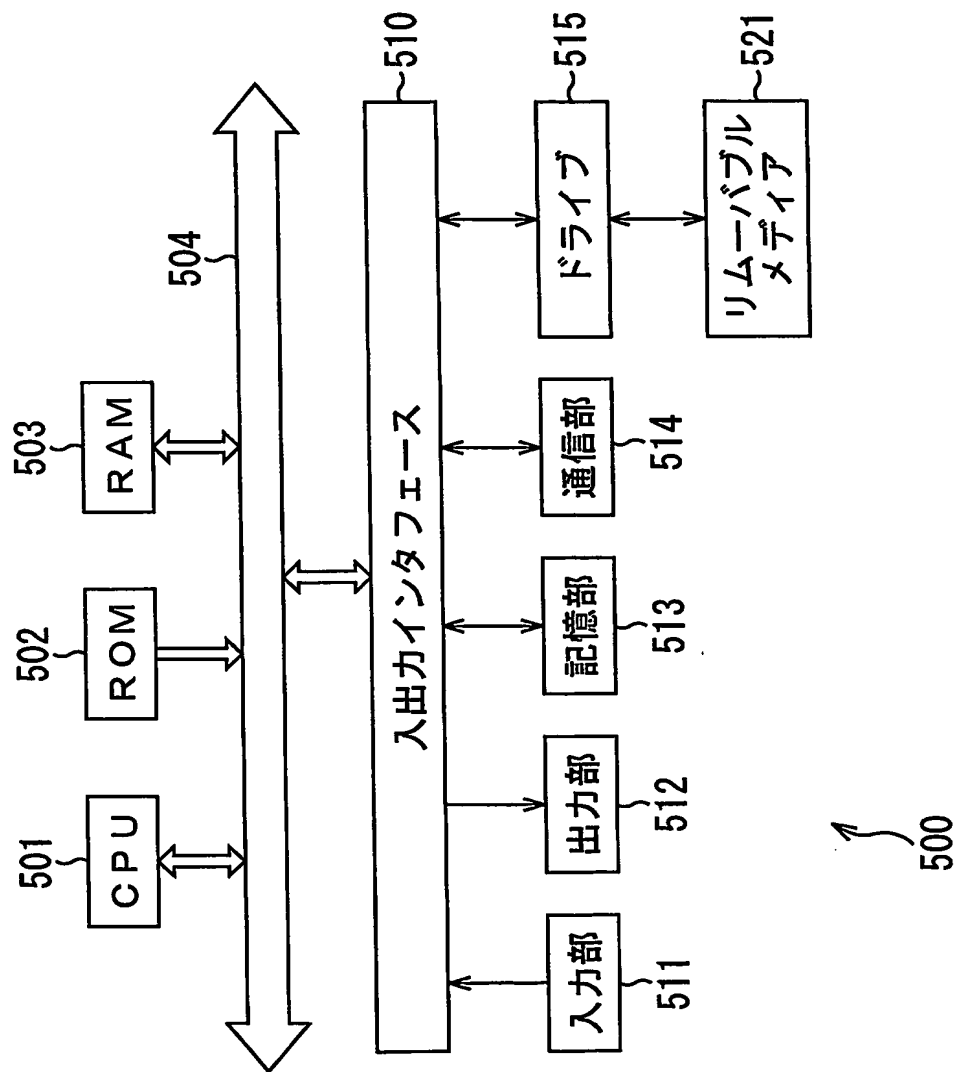


図31



31/31

図32



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/007747

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H03M13/09, 13/19, G11B20/18, 20/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H03M13/00-13/53, G11B20/18-20/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEICE Web (TEIMITSUDO, LDPC, SENKEI) (in Japanese),  
IEEE Xplore (LDPC, linear)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	HOSOYA et al., "Brust Ayamari ni Tekishita Teimitsudo Parity Kensa Fugo no Kosei Hoho", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, IT2003-20, 22 July, 2003 (22.07.03), pages 61 to 66	1-32
P, A	JP 2004-140828 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 13 May, 2004 (13.05.04), Full text; all drawings (Family: none).	1-32

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
12 August, 2004 (12.08.04)

Date of mailing of the international search report  
31 August, 2004 (31.08.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/007747

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-115768 A (International Business Machines Corp.), 18 April, 2003 (18.04.03), Full text; all drawings (Family: none)	1-32

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. H03M13/09, 13/19, G11B20/18 20/18

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. H03M13/00-13/53, G11B20/18-20/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

IEICE Web (低密度, LDPC, 線形), IEEE Xplore (LDPC, linear)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
PA	細谷 他, “バースト誤りに適した低密度パリティ検査符号の構成方法”, 電子情報通信学会技術研究報告, IT2003-20, 2003.07.22, p.61-66	1-32
PA	JP 2004-140828 A (三星電子株式会社) 2004.05.13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-32
A	JP 2003-115768 A (インターナショナル・ビジネス・マシーン・コーポレーション) 2003.04.18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-32

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

12.08.2004

国際調査報告の発送日

31.8.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号 100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田中 庸介

5K

8529

電話番号 03-3581-1101 内線 3555